U. D. C. 55(05)

地質調査所月報

第 8 巻　第10號

目　次

報　文

工業用水調査グループ：東京都江東および都北工業用水源地域調査報告…… 1
—関東西部地域調査　第1報—

概　報

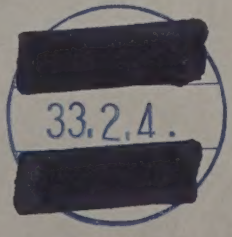
神戸信和，斎藤正次：宮崎県高千穂町に発見された下部三畳系……27
安藤武，渡辺和衛：岩手県松川温泉地熱調査報告……29
松田武雄，杉山友紀，須田芳朗：North American 重力計 AGI—157 の
感度測定結果報告……33
稲井　信雄：鹿児島県川内川水系堰堤地点地質調査報告……35

雑　報

岩手県赤金鉱山二枚山区域物理探査報告

資　料

交代作用過程の概説



工業技術院地質調査所

昭和 32 年10月

551.48/.49 : 62(521.27)

東京都江東および都北工業用水源地域調査報告

— 関東西部地域調査　第1報 —

工業用水調査グループ

Ground Water Researches for Fabric Industry in the Eastern and Northern Parts of Tokyo

By

Cooperative Group of Hydrogeology for Industrial Water Supply

Abstract

An investigation of the ground water resources in the eastern and northern parts of Tokyo was carried out 1956 in connection with the areal investigation of the water sources for fabric industry in the western part of the Kwanto Plain.

At the 82 factories in this region, the ground water of 210,000 cub meters is utilized in a day for fabric industry, and the greater part of deep wells is suffering from the sucking up of sand and the lowering of waterlevel. The land-subsidence is lately extending towards the upper part along the river Arakawa.

Therefore, the cautious control of the ground water resources, must be necessary for the development of industry in a capital city.

要　約

1. 東京都江東および都北地区における用水型工場78その他について行つた水調査の結果を記載している。

2. 用水取得総量は1,232,000 m³/日で，大量の冷却用水を取得している数カ所の工場を除いて，大多数の工場が地下水源に依存して用水を得ており，その量は210,000m³/日に達している。

3. 深井戸は一般に揚水量に対する水位降下の割合が小さく，湧出能力が高いのであるが，工場の集団している地区では，井戸の濫掘と相まつて，過剰揚水の状態に陥つているものと推定される。

4. 江東地区にはかつての利根川の運んできたと推定される堆積物に深い関連のある地下水が分布しているが，これに荒川水系から供給されていると推定される地下水が，限られた規模の透水帯を作つて加わつている。水質は後者の方がすぐれているが，都北地区でこの透水帯の地下水が盛んに利用されてくるに伴ない，江東地区への補給量が減少し，水位の著しい低下，塩水の混入および地盤沈下の促進を行つたものと考えられる。

5. 揚水水位が著しく深い。揚水水位は名古屋市南部地区と同じ程度にまでなつており，しかも低水位地区の拡がりは，名古屋の場合より遙かに大きい。江東地区には地下水中への塩水の混入が相当広い範囲にわたつている。

6. 帯水層が砂，特に細粒の砂に富んでいるので，井戸揚水に伴なう排砂がひどく，全国的にみても深井戸集団地帯としては最もはなはだしいといつてさしつかえない。

7. 地盤沈下による井戸側管の抜け上がり，それに伴なう井戸台枠コンクリート基礎の亀裂，粉砕，送水管の撓曲などが随所にみられる。

8. 地盤沈下が両3年来，足立区で激化しているが，板橋区および北区で化学工場が続々と建設されており，これらが地下水を専ら利用しているため，その影響が下流に及び，水位の急激な低下を生じ，地盤の沈下を促がしているものと考えられる。

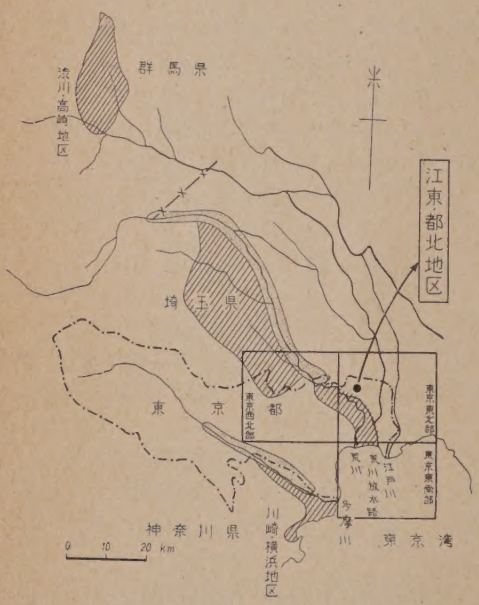
緒　論

関東西部地域調査について

関東地方のうち神奈川・東京・埼玉および群馬の1都3県にまたがる地域は，相模川・多摩川・荒川および利根川の都合4水系の流域にも相当しており，それぞれの河川の水，あるいは河川に関連のある地下水を利用して

生活がいとなまれ，農工鉱各種の生産が行われている。一方これらの地域には首都東京を中心にして連鎖状に発達した工業地帯や，高度に発達した交通網によつて，都県相互の関連がきわめて密接に保たれている。しかもそれのみならず，各河川の流域は地質的あるいは水理地質的に切り離し難い関係にあり，特に水の分布，水資源の開発利用あるいは水保全対策などについて考えて行く場合には，この地域を1つの地域という見方で取り扱つて行くことが必要と思われる。

そこでこうした観点から上記4都県の沖・洪積層地帯を関東西部地域と称して，昭和31年度以降，水地域調査の基準に従がつて，地下水とともに地表水をも含む水理および水文地質調査に着手したのである。



第1図　調査範囲（併わせて関東西部地域水調査第1年度にあたる昭和31年度調査実績を示す）
斜線部：工場用水源を中心とした地下水調査
点線部：河川縦断方向の流量変化を中心とした水文測量
（×－×）：容水地盤の規模を求めるための物理探査
（・）：地下水位観測井設置

このうち第1年度には

1. 東京都江東・都北一円の主として地盤沈下地帯の工場深井戸水源の現況調査
2. 東京都足立区内における地盤沈下および地下水位観測井の掘鑿
3. 横浜・川崎両市の水理地質調査
4. 荒川水系の水文地質調査および荒川縦断方向における水文測量
5. 埼玉県寄居町・熊谷市および妻沼町を結ぶ線に沿う電気探査
6. 高崎・渋川工業地域の予察調査

などを行つたのであるが，これらはさらに次年度に継続して調査を進めるとともに，とりまとめ得られるものから順次報告して行く予定である。

東京都江東・都北一円の調査について

関東西部地域のうち東京都23区，川崎および横浜両市一帯の工業地帯では，現在すでにその用水源を拡張・増加させることについて，種々の面で障害に打ちあたつている。なかでも東京都江東（江東・墨田・荒川および江戸川各区）・都北（足立・北・板橋各区）一円にあつては，従来工業用水の主要な部分を深井戸による地下水に依存し続けていたため，その著しい増加も関係して，広範囲にわたる圧力面の低下を生じ，これに伴なつて江東各区には顕著な地盤沈下が起こつている。しかもこの地盤沈下はこゝ両3年来，江東地区より北進し，足立区一円にわたつて激化の徴候をみせはじめ，さらに西方，北区に向かつて徐々にその魔手をのばそうとしている現状にある。

そこで深井戸を利用して工業用水を得ているこれら一円の地域の工場群の用水源を確保するとともに，地盤沈下のこれ以上の促進を防止するにはどのようにしたらよいかということが，いまや焦眉の急にせまられた問題となつており，そのためには水利の現況，水理地質的特性などを明確にしておかなければならないのである。

われわれ工業用水調査グループは，こうした事情を考慮して関東西部地域調査の一環として，まずこの地域の工業用深井戸の水理地質的特性を検討し，荒川水系あるいは利根川水系との水理の関係をたゞし，地下水の供給ルートを明らかにすることにより，今後の水源の開発あるいは保全に関して参考となると思われる充分な資料が得られるだろうと考えたのである。

この報告は前述関東西部地域調査第1年度調査実績中の1および2に相当しており，その現況記載の程度に止まつているが，水理地質的に重要な事実を示している記録であるので，とりあえず第1報としてとりまとめたものである。

なおこの調査では

工場用水状況聴取，全体とりまとめ　　地質部　蔵田　延男
井戸実測調査　　〃　森　和雄
水質化学分析　　技術部　池田喜代治
観測井掘鑿　　〃　野口　勝
　　〃　小林　竹雄

以上のように分担，それぞれの作業を行つたが，長期に

わたる調査作業に対し，直接，間接に協力頂いた東京都建設局綜合開発課（昭和31年12月以降，東京都渉外広報局建設部綜合開発課に事務移管），東京都土木技術研究所および関係各区役所土木課の方々に対し厚く感謝の意を表する。

1. 調査規模および実績

この報告に関連のある範囲での調査の規模および実績は次の通りである。

調査の規模

調査範囲　約100 km² (第1図参照，なお2万5千分の1地形図赤羽・草加・東京首部・東京西部および東京南部参照)

第1次調査　昭和31年6～7月
おもに江東・墨田両区，一部荒川・江戸川両区工場用水源調査

第2次調査　同　9月
前回の補測，荒川・足立・北・板橋4区工場用水源調査

第3次調査　同　11～12月
足立区足立高等学校観測井掘鑿

第4次調査　同　12月
北・板橋両区工場用水源調査

調査の実績

蒐集した工場用水調査票	92
巡検・実測を行つた工場，上水源	82
水温・水比抵抗・水位などを実測した深井戸	160
水試料の採取およびその水質化学分析	85
蒐集した鑿井地層図	110
観測井の掘鑿	孔径4吋，深度111mの井戸1本

2. 古地理との関連からみた水理的環境

東京都江東・都北一円にわたるこの調査地域は，荒川（隅田川）と新荒川（荒川放水路）とに挟まれた江東三角低地とその北西方，新河岸川と荒川本流沿いの冲積低地とからなつている。調査地域の西側には隅田川を隔てて，武蔵野台地の一部にあたる山の手台地が東に突き出ており，こゝに上野公園が所在する。同じく東側には葛飾・江戸川両区の冲積低地を擁し，中川および江戸川を隔てて市川市国府台のローム台地があり，山の手台地と距離11.5 km を隔てて対峙している。

現在荒川は北区岩淵町地先にある岩淵閘門によつて，下流左側に荒川放水路が分岐されており，この荒川放水路は足立区を南流する綾瀬川の水を合わせ（綾瀬川の水はさらに荒川にまで通じている），これから下つて，さらに葛飾区を南流する中川と上平井町地内で接近し，これより下流では荒川・中川両放水路が並んでいる。岩淵閘門の上流右側には荒川に注ぐ新河岸川があり，主として武蔵野台地の排水を集め，都北工業地帯の舟運の便を供するとともにその排水路ともなつている。

以上のように調査地域内には複雑な河川系統がみられるが，このうち荒川・綾瀬川・荒川放水路によつて囲まれている江東一円の低地は，約1,000年前には海であつて，古利根川が北方から注いでいたのである。その後現在の亀戸・向島の一部はそれぞれ亀島・牛島の名称のもとに，古利根川の河口近くに点在する浮洲として現われるに至り，さらに古利根川河口に三角洲の発達が進み，併わせて治水工事が行われるなどして，逐次現在の江東一円の陸地ができ上つたものとみられる。

治水工事のうち特に顕著なものは太田道灌が江戸築城に際し，長録年間（1460年前後）古利根川の乱流を整理したもの，徳川時代初期に深川地区に行われた干拓などが挙げられるが，さらに承応3年（1654年）には利根川の主流が現在の銚子に向かう河道につけ替えられる大工事が行われている。このつけ替え工事により，荒川の水が専ら東京湾に注ぐこととなつたのであるが，大正4年に至り，当時の内務省は荒川放水路の開鑿事業に着手し，以来14年の年月を費して昭和4年に完成をみるに至り，往時の古利根川三角洲は隅田川と荒川放水路とに挟まれた現在の江東地区として生まれ変わつたのである。

以上の古地理から推定できるように，江東・墨田両区と江戸川区の一部とからなる江東三角地区 43 km² の土地はきわめて低湿な状態にあり，地区内にも縦横に運河・堀割が発達し，舟運の便に恵まれている。しかし海水はこれらの運河・堀割のほとんどすべてに溯上し，地表浅部で良質の淡水を求めることは，ほとんど困難となつている。しかもこの地区一円を潤おす河川は現在では荒川であるが，約300年前までは利根川の水がおもであつたわけで，古利根川によつてでき上つた三角洲は当然古利根川の流路に従がつて堆積しており，現在でもなお地下水はその堆積状態に左右されている点が少なくないと考えられる。したがつてこの調査地域全体を考える場合に地下水の供給源は，現在の荒川本流の表流水の伏没によるものを始め，同水系流域の浸透水のほかに，古利根川三角洲の堆積物中の透水度の高い部分を通じて供給される別なルートをも併わせて考える必要がある。

こうした観点に立つて行つている現在の調査段階では中川・江戸川沿岸の詳細な状況がまだ不明ではあるが，板橋区―北区―荒川区を連ねた荒川河道右岸沿いに，荒川表流の浸透水と考えられる比較的良質の水の供給ルートが推定され，この透水帯の先端が墨田区内にはいつて細まり，別な供給源から供給されていると考えられる地下水中に同化されてしまうという興味ある関係がみいだされている。

なお隅田川の西側，台東・中央両区一円の地下水はほぼ江東地区の地下水と類似しており，山の手台地からの浸透水の影響を受けている部分もある。しかしこの影響は江東地区にまでは及んでいない。

3. 地盤沈下の現況と井戸障害

調査地域のうち江東地区には，明治の末期頃から地盤沈下の現象が認められており，これが大正9年前後から活発になり始め，関東震災後一時的に小康を保つたが，その後ふたゝび活発化し，昭和12～13年頃には沈下量は1年間に100～120 mmを示すに至つた。戦災を受けた昭和19～21年当時は，この沈下量が減少したが，またふたゝび増加しだし，最近4，5年の間は年間50mm前後に達している。

これら沈下現象についての調査は，最初江東区内の下水管の撓曲から出発して東京都が行つていたが，それらの統計的資料によると，昭和4年から同30年までの26年間の沈下総量は墨田・江東両区で500～1,100 mm，江戸川区内で500～600 mm，足立区内で500 mm前後となつており，なかでも江東区深川平井町3丁目附近では大正7年以降の37年間に，2,720mmの沈下量を示しているという。

一方このように地盤の沈下が進むに伴なつて，必然的に高潮による被害を瀕繁に受けるようになり，すでに大正6年10月には A. P.（Arakawa Peil）4.2m の異常な高潮（大潮時の高潮の潮位が A. P. 2.2m程度）に見舞われて，広範囲に海水の洗礼を受け，昭和13年9月には12 km² の冠水をみ，さらに昭和24年9月のキティ台風によつては江東地区のほとんど全域が海水を冠るまでに至つたのである。もちろんこうした地区では，岸壁・荷揚場はその機能を失い，平常から下水は排水不良となり，短時間の降雨にも出水をみるに至つており，ポンプ排水により辛うじて土地を維持する状態となつている。こうした憂うべき災害の発生にかんがみて，東京都では特に昭和26年，東京都地盤沈下対策調査協議会を設け，以降5カ年，同30年に至るまでの期間，沈下の進行状況，その発生の原因，機構などの探究を目ざして詳細な各種の調査を行い，その結論としてこの地盤沈下は地下水位の低下と密接な関係をもつており，工場群の深井戸揚水が主因であるとなし，工業用水が地下水に主として依存しなければならないこの地区としてはなおさらに進行するものとみて，A. P. 6 m の高さの閘門式防潮堤をもつて，とりあえず災害防止の処置を講じなければならないということになつたのである。

なおこの調査の中心となつた沈下量の測定結果によると，沈下の中心は最初，隅田川沿岸であつたのが，隅田川と荒川放水路との中間地帯に移り，これが北上して昭和28～29年来足立区方面が最大沈下量を示すに至つている。昭和29年から同30年にかけての足立区における沈下量は（水準測量だけの記録であるが）1年で最大85mmにも達しており，今後さらに激化・拡大の徴候が認められている。

沈下の機構についてはしばらくおくとして，工業用水源の立場からみれば，調査地域全体を通じて深井戸水位の低下は著しく，特に江東地区ではその低下の割合は年平均2 mにも及んでおり，揚水水位は地下30～40 mに達している。しかも地下浅部の堆積層の圧密沈下を示すかのように，地下深部にまではいつている井戸側鉄管は，沈下の進むに伴なつて地上に抜け上がり，このため井戸台枠のコンクリートは1年目には網目状の亀裂を生じ，

第1表　東京江東および都北の工業地帯の用水源からみた特徴

地区別	区別	主要工場業種別	水源の特徴
江東地区	墨田・江東・一部の江戸川	化学・皮革・染色・製薬・金属・醸造	おもに地下水，一部海水，運河水沈下による被害最大，水質不良の部分がある。
千住・足立地区	荒川・足立	製紙・紡績	おもに地下水，たゞし量的には荒川の水が多い。排砂，陥没の被害最大。
荒川区西部・北区地区	荒川・北	化学・製紙・醸造	おもに地下水，一部荒川，仙川用水，排砂，陥没の被害があり，沈下による被害も認められる。
板橋地区	板橋	化学・金属・製紙	おもに地下水，少量荒川の表流利用，水位・水質には地域中最も恵まれているが，井戸の増設きわめて瀕繁。

第 2 図　東京都江東および都北地区工業用深井戸分布図

第2表 東京都江東および都北地区工場別用水取得量（昭和31年）

工場番号	工場名（所在地）	敷地坪数	用水総取得量 (m³/日)（循環水量）	表流(海水)取得量 (m³/日)	上水道使用量 (m³/日)	地下水取得量 (m³/日)/運転時間	井戸本数
1	東都製鋼K.K. 本社製鋼所（南北両工場合計）	80,522	13,630	北 3,700 南(2,800)	5,200	1,920/24	2
2	藤倉電線K.K. 本社工場	22,400	1,540	—	1,090	450/15	2
3	日本理化工業K.K. 亀戸工場	1,180	927	—	12	915/16	1
4	隅田冷凍工業K.K.	348	914	—	14	900/24	2
5	三菱鋼材K.K. 本社工場	26,000	1,600	—		1,600/14	2
6	日東化学工業K.K. 中川工場	17,700	7,000 (360)		—	7,000/24	5
7	K.K. 日立製作所亀戸工場	35,000	935	—	700	235/24	1
8	第一製薬K.K. 船堀工場	10,000		—	—	—	3
9	第一製薬K.K. 平井工場	4,088	710	—	60	650/12	1
10	富国油脂化学K.K.	10,000	3,200	750	100	2,350/24	2
11	日本化学工業K.K. 小松川第一工場 北工場	10,000	1,400		80	1,320/24	2
12	同 南工場		2,407	950	57	1,400/24	3
13	日本化学工業K.K. 小松川第2工場	5,300	1,340		40	1,300/24	3
14	日産化学工業K.K. 小松川工場	31,300	5,120		120	5,000/24	3
15	ライオン油脂K.K. 平井工場	12,000	2,655	500	5	2,150/24	3
16	日本化学工業K.K. 亀戸工場	14,000	1,550		300	1,250/12～24	4
17	明治製菓K.K.	16,000	460		10	450/6	1
18	大成化工K.K. 吾嬬工場	990	332		32	300/7.5	1
19	花王石鹸K.K. 東京工場	13,000	最大 5,400 平均 2,900		平均 400	最大5,000/7.5 平均2,500/12～24	4
20	東洋紡績K.K. 向島染色工場	25,000	3,450		50	3,400/平均8	6
21	第一製薬K.K. 柳島工場	—	1,080		80	1,000/8	2
22	電気化学工業K.K. 本所工場	5,200	1,420		150	1,270/24	3
23	鈴木化学工業K.K.	3,400	2,350		350	2,000/—	4
24	K.K. 青木染工場	5,043	1,450		200	1,250/16	2
25	K.K. 資生堂東京工場	2,753	1,750 (60)		250	1,500/24	2
26	K.K. 久保田鉄工所隅田川工場	8,360	1,000		100	900/12	1
27	江東冷蔵K.K.	960	800		50	750/24	2
28	朝日ビールK.K. 吾妻橋工場	8,000	5,200		2,400	2,800/24	5
29	朝日ビールK.K. 鷲平分工場	2,800	3,800		1,900	1,900/24	2
30	神谷酒造K.K.	1,918	800		200	最大 600 常時 300/8	1
31	鐘ケ淵紡績K.K. 東京工場		9,380			9,380/24	5
32	大日本紡績K.K. 東京工場	48,500	7,000	発電保安用		7,000/18	5
33	鐘ケ淵紡績K.K. 南千住工場	22,743	1,300			1,300/10	3
34	東京ガスK.K. 千住工場	30,000	24,300	21,600 (6,500)	1,500	1,200/24	3
35	千住製紙K.K.	14,000	12,700	下水処理水 12,000		700/24	3
36	大和毛織K.K. 本社南千住工場	33,343	4,020		20	4,000/15～24	5
37	東京電力K.K. 隅田火力発電所	11,386	290,200	290,000		200/24	2
38	旭電化工業K.K.	48,230	130,830 (3,600)	123,800	30	7,000/24	7
39	丸三製紙K.K. 千住工場	2,312	1,730		5	1,725/24	1
40	高崎製紙K.K. 千住工場	2,417	3,540		40	3,500/24	2
41	日新工業K.K. 東京工場	9,500	3,050		50	3,000/24	3
42	同 東京工場分工場						
43	吉田製紙K.K.	1,253	335		285	50/12	1
44	東都冷蔵K.K.	1,544	1,890	(施設がある)	90	1,800/24	2
45	日本皮革K.K.	31,900	最大 8,900		最大 900	最大8,000/16～24	7
46	東京電力K.K. 千住火力発電所	19,050	496,800	495,000		1,800/24	2
47	日建製紙K.K.	4,388	1,133		0.5	1,132.5/24	2
48	日清紡績K.K. 西新井化成工場	15,700	2,200			2,200/10～17	2

工場番号	工場名（所在地）	敷地坪数	用水総取得量 (m³/日)（循環水量）	表流(海水)取得量 (m³/日)	上水道使用量 (m³/日)	地下水取得量 (m³/日)/運転時間	井戸本数
49	日新染布K. K. 本社工場	10,000	2,000			2,000/12	2
50	島田軽金属工業K. K.	5,000	550			550/8	4
51	東京田辺製薬K. K. 梅田工場	5,100	900		15	885/2～8	2
52	東武鉄道K. K. 西新井工場	11,920	65			65/2	1
53	東紅織物K. K. 東京工場	5,000	180			180/9	1
54	東京毛糸紡績K. K. 東京工場	900	—	—	—	—	1
55	相模製紙K. K.	3,200	80			80/24	2
56	東京セロファン紙K. K. 東京工場	10,000	4,500 (1,800)			4,500/24	2
57	東京都水道局足立区梅田水源		4,000	—	—	4,000/24	1
58	同 栗原水源						1
59	同 本木水源						1
60	同 鹿浜水源						1
61	宝酒造K. K. 王子工場	12,580	3,500		未使用	3,500/15～24	3
62	第一工業製薬K. K. 東京工場	25,848	765		65	700/8	2
63	日本油脂K. K. 王子工場	11,040	3,300		225	3,075/6～22	5
64	日産化学工業K. K. 王子工場	85,000	30,700 (200)	24,000	250	6,450/24	7
65	保土ケ谷化学工業K.K. 東京工場第1製造所	9,500	5,000			5,000/24	3
66	十條製紙K. K. 十條工場	34,728	25,020	20,000	20	5,000/24	2
67	日本加工製紙K. K. 王子工場	9,800	1,530		30	1,500/14	2
68	印刷局王子工場	17,765	9,760	5,760		4,000/24	3
69	日本フエルトK. K. 王子工場	10,482	1,920		20	1,000/—	3
70	保土ケ谷化学工業K.K. 東京工場第2製造所	—	2,000			2,000/—	3
71	日本製紙K. K.	20,000	23,515 (9,000)		15	23,500/24	7
72	日本化薬K. K. 王子染料工場 第1工場		1,004		4	1,000/4～8	2
73	同 第2工場		1,410	800		610/12	2
74	大日本セルロイドK. K. 東京工場	15,110	2,700			2,700/24	3
75	志村化工K. K.	20,212	10,000			10,000/24	4
76	大内新興化学工業K. K.		1,000			1,000/—	3
77	日本特殊鋼管K. K. 本社工場	27,000	3,115	2,000		1,115/20	3
78	凸版印刷K. K. 板橋工場	30,000	9,000			9,000/10～15	4
79	オリエンタル酵母工業K. K. 東京工場	3,532	4,060		60	4,000/12～24	4
80	大日本インキ製造K. K.	14,000	4,400			4,400/24	3
81	第一硝子K. K.	3,020	900 (300)			900/24	1
82	山の内製薬K. K. 蓮根工場	3,500	1,400			1,400/12	2
	合計		1,231,792	1,003,660	17,574	210,557 m³/日	218

註）なおこのほかに調査票による調査として江東区東京芝浦電気 K. K. 砂町工場（上水道 250m³/日），石川島重工 K. K. 第2工場（上水道 1,150m³/日），浅野スレート K. K. 東京工場（上水道 200m³/日），乳熊味噌福住醸造所（上水道のほか，深度 88 m の 10 吋深井戸 45 m³/日）などがある。

第 3 表　東京都江東および都北地区井戸別井戸規模および揚水規模

工場番号	工場名（所在地）	井戸番号	鑿井年度 T大正 S昭和	井戸側管孔径（吋）	鑿井深度（m）	収水層深度（m）	ポンプおよび揚水動力の種類大きさ	設井当時の自然水位 揚水水位（m）	設井当時の揚水量（m³/時）	調査当時の自然水位 揚水水位（m）	調査当時の揚水量（m³/時）	備考
1	東都製鋼 K.K. 本社製鋼所（江東区南砂町5の1985）	1	S—15	10	100	—	6″AL 100HP				45	南工場
		2	—	—	54.5	—	5″AL 100HP				35	北工場
2	藤倉電線 K.K. 本社工場（江東区平久町1丁目）	2	S— 4	14	137	—	6″Birgack 20HP	21.8/—		S—30 26.2/—	15	管底埋砂著しい
		4										掘さく計画中，廃井2
3	日本理化工業 K.K. 亀戸工場（江東区亀戸町9の292）	1	S—12	10～ 8	91		BH 15HP	6/—		—/38	60	
4	隅田冷凍工業 K.K.（江東区深川三好町4の6）	1	S—31	9～ 8	91	35～50 53～62 75.5～79	6″BH 15HP			30/37.5	37.5	
		2	—		45.5							排水の圧入井に使用
5	三菱鋼材 K.K. 本社工場（江東区大島町6の380）	1	S—11	10	98	—	6″AL 100HP流用	17/22			53	22時間/日運転
		2	—	12	100	—	同	20/25			80	5時間/日運転，廃井1
6	日東化学工業 K.K. 中川工場（江東区大島町7の915）	1	S—30	12	106	59～69.5 81.5～97	5″BH 40HP		75	24.5/29.7	60	
		2	S—14	12	106	55.5～67 85～100	6″BH 25HP		75	19/22	60	一般に環境不良，特にNo.4, No.5 台枠の破損
		3	S— 6	12	106.5	60.5～67 89.5～98.5	6″BH 30HP		75	28/32	60	ポンプの傾動，吐出管の撓曲など
		4	—	12	106	57.5～69.5 82～92.5	同		75	19.5/23.5	60	地盤沈下による被害激甚
		5	S—25	12	93		同		75		60	
7	K.K. 日立製作所亀戸工場（江東区亀戸町8の180）	1	S—11	8	132.5		BH 10HP			25/30	10	調査当時休井
8	第一製薬 K.K. 船堀工場（江戸川区南船堀町）	1										
		2	S—14			100.5～110.5 133～151 166～169.5		17/26	115			
		3	S—29	14	157.5	26～28 31.5～34.5 35～37 44～47		16.7/29.7	117			
9	第一製薬 K.K. 平井工場（江戸川区平井4の2059）	1	S—26	12	82	34～39.2 55～60 62～69.5	4″BH 30HP			24.3/26	54	
10	富国油脂化学 K.K.（江戸川区平井1の2290）	1	S—31	12	110.5	55.7～67 81.5～91	4″WP 25HP			22.7/27.2	75	
		2	S—25	10～ 8	85	56.5～67 80～85	6″BH 20HP				26	予備，常時は6時間/日運転
11	日本化学工業 K.K. 小松川第一工場北工場	1	—	8	115	—	4″BH 20HP				50	
		2	—	3.5	85	—	3.5″AL 10HP				5	調査当時休井，ほかに廃井2
12	同 南工場（江戸川区小松川1の1）	3	T— 9	7	150？	—	5″BH 20HP		40		25	35年間に抜け上がり，1.5m
		4	T—10	8	115？	—	同		40		25	
		5	S— 6	4	73	—	4″AL 15HP		9		10	

13	日本化学工業 K.K. 小松川第二工場（江戸川区小松川1の3）	1	S—29	12	110	57.5～70 95～105	5″BH 40HP		75		54	
		2	S—10	8～6	75？	54.5～63	4″BH 20HP	18/24			15	休井
		3	S—12	12	74.5	53.2～69.5	5″BH 30HP				26	休井
		ガス井	S—28		206.5						34	産ガス量 500m³/日
14	日産化学工業 K.K. 小松川工場（江戸川区小松川1の2）	1	—	12	100		6″AL 30HP				30	
		2	S—25	13¼	100		6″BH 30HP	14/18	110	S—29	60	S—29 内管挿入91.4m～No.2とともに排砂が多い
		3	S—29	14	104		6″BH 50HP	23.8/25.2	150	25/29	120	
									80	S—30		
15	ライオン油脂 K.K. 平井工場（江戸川区平井3の2,397）	1	S— 9	12	151	—	5″BH 30HP			29/36.5	50	
		2	S—23	12	106	—	6″BH 40HP		80	25/28	20	
		3	S—26	12	91	—	6″BH 35HP		75	26/36.5	20	
16	日本化学工業 K.K. 亀戸工場（墨田区亀戸9）	1	S—11	8～6	100	57.5～63 88～94	4″BH 20HP		42		20	20年間に抜け上がり0.75m
		2	S—12	8	100		4″BH 20HP		60		35	
		3	T—		150？		3″AL 15HP		14		—	休井
		4	T—		150？		3″AL 10HP				8	
17	明治製革 K.K.（墨田区吾嬬町6の30）	1	T—13	12	163.5	94～103 130.5～135 151.5～157.5	5″BH 40HP			34/41	75	
18	大成化工 K.K. 吾嬬工場（墨田区吾嬬町東3の29）	1	S— 9	12	121	67～70 76～82 106～109	BH 30HP			29/39.2	42	
19	化王石鹸 K.K. 東京工場（墨田区吾嬬町東1の2）	1	S— 5	14	106 (83.5)		5″BH 40HP	S—29 29/		36.5	80	
		2	S—15	15	106 (50)		6″BH 50HP	S—29 22/			20	サクション44m 息をつく
		3	S— 5	15～14	156＋		5″WP 35HP	S—29 21.5/		34.5	40	67mで井戸側管中心0.82m
		4	S— 31		160						110	偏心している
20	東洋紡績 K.K. 向島染色工場（墨田区吾嬬町西2の1）	1	—	12	121		6″BH 30HP				60	
		2	—	14	136		6″BH 40HP				75	
		3	—	14	118		6″BH 40HP				75	旧伊藤染工所有
		4	—	12	121		6″BH 70HP				90	
		5	S—29	16	127		5″BH 40HP			36.5/45.5	90	
		6	S—29	—	127						—	
21	第一製薬 K.K. 柳島工場（墨田区平川橋5の7）	1	S—28	12	136	75.5～81.5 100～114.5	5″BH 40HP	29.5/41.5	71			
		2	S— 6	8	153.5	77～82.5 103～111 146～151.3	4″BH 20HP	22.5/32	55			
			S— 9	12	122	44～49 58～63 100.5～111.5		28.5/35.3	75	35.5/—		現在廃井
22	電気化学工業 K.K. 大町工場（墨田区横川橋5の4）	1	S—13	12	151		5″BH 40HP			/43.5	53	
		2	S— 8	10	151		4″BH 20HP					予備中
		3	S—31	12			5″WP 40HP			38/47	55	調査当時未使用
23	鈴木化学工業 K.K.（墨田区横川橋1の4）	1	S—10	12			5″BH 30HP			36/48	—	
		2	S—12	12～10			同			36/48	—	
		3	S—26	12			同			36/48	—	
		4					6″BH 30HP					

工場番号	工場名（所在地）	井戸番号	掘井年度 T大正 S昭和	井戸側管径 (m)	掘井深度 (m)	取水層深度 (m)	ポンプおよび揚水動力の種類大きさ	設井当時の自然水位 揚水水位 (m)	設井当時の揚水量 (m³/時)	調査当時の自然水位 揚水水位 (m)	調査当時の揚水量 (m³/時)	備考
24	K.K. 青木染工場	1	S—3	8	109	91～98	4″BH 20HP	S—27		39.5/	45	1日16時間運転
	（墨田区大平町4の9）	2	S—12	12	109	61～70 91～100	6″BH 35HP	32/			75	1日6～7時間運転
25	K.K. 資生堂東京工場	1	S—16	12	121	40, 90, 107	5″BH 30HP			〃 〃	60	
	（墨田区寺島町4の70）	2	S—28	12	106	40, 68, 85	同				60	1日2時間運転
26	K.K. 久保田鉄工所隅田川工場（墨田区寺島町3の69）	1	S—27	12	106		5″BH 40HP	19/38	75			
27	江東冷蔵 K.K.	1		12	91		6″BH 20HP				27	予備井
	（墨田区横網町）	2		12	91		4″BH 20HP				30	
28	朝日ビール K.K. 吾妻橋工場（墨田区吾妻橋）	1	S—29	12	121	44～50 54.5～61 64～73 75～86	6″BH	32/35.5	90		41	
		2	S—13	12	82	51.5～82	4″WP	32/41.5	34		27	
		3	S—26	14	30	9～23	4″BH	2.8/6.3	75		68	
		4	—	10	61		3″AL	30/36	15		18	
		5	S—31	—	115		WP				40	調査当時未使用
29	朝日ビール K.K. 叢平分工場（墨田区叢平橋）	1	S—28	14	100	81～95.5	4″BH 30HP	29/43.5	60			
		2	S—31	14	91		4″WP 30HP		32			
30	神谷酒造 K.K.	1	S— 7	8～6～4	158		4″WP 15HP	27/		S—30	38	夏季30m³/時で水位48mになる
	（墨田区吾妻橋3の13）	1	S— 8	12	118		6″BH 40HP	19.5/31	120	36/48	106	
31	鐘ケ淵紡績 K.K. 東京工場（墨田区隅田町）	2	S—10	12	165		6″BH 30HP	24.5/35.5	116	33/40	100	
		3	S—10				6″BH 40HP	22/31	120		58	
		4	S—10	12	122		BH 30HP				100	排砂著し
		5	T—	12	242		BH 20HP			S—29	55	
										33/—		排砂一年にオート三輪一杯分位大井戸と称している
32	大日本紡績 K.K. 東京工場（荒川区南千住町10の1）	1	S—12	12	151.5	43～48 57～62 76～85 108～116	5″BH 40HP	27/	110			24時間運転
		2	S— 9	12	121		7″BH 35HP	21.5/	110			一般に排砂が著しい
		3	S— 8	12	136		7″BH 35HP	27/	70			4月9月には揚水水位さらに側管曲がり3～6m低下する。S—29改造
		4	S—30	12	106		6″BH 50HP			35/38	50	
		5	S— 7	12	106		6″BH 35HP				50	
33	鐘ケ淵紡績 K.K. 南千住工場（荒川区南千住町10の20）	1	S—11	10	146	74～77.5 107.5～110 120～131.5	5″BH 30HP	28/—	66	33/35.5	S—28 44	旧新興毛織所有
		2	S—12	12	136	74～76 106.5～108.5 119.5～130.5	6″AL 40HP	28/—	80	33/37.5	〃 15	休井，吐出管に沈下による影響が著しい
		3	S—28	12	151.5	74.5～83 110～113.5 124.5～130 145～148	6″BH 40HP	33.3/—		33/42	S—30 90	
34	東京ガス K.K. 千住工場（荒川区南千住町3の101）	1	—	8	200		4″AL 30HP				10	
		2	—	8	200		〃				10	
		3	—	8	95.7		6″BH 30HP			40/50？	25	
35	千住製紙 K.K.（荒川区三河島町）	1	T—15	12	103		6″AL 50IP					
		2		12								休井
		3		12								〃

36	大和毛織 K.K. 本社南千住工場（荒川区南千住7の1）	1	T— 3	12.5	218			4″BH 30HP			36/40	37	旧製絨廠所有
		2	S— 5		(182)						37.8/—	(休井)	
		3	S—16	12	272			6″BH 50HP		75	35/37	50	
		4	S—26	12	130			6″BH 50HP		75	32/37	50	
		5	S—28	12	115	32～39, 55～59.5 69～32.5 87～91.5		6″BH 50HP		75	33/39	50	
37	東京電力 K.K. 隅田火力発電所（荒川区尾久町9の3,300）	1	T— 8	12-6	146.3			4″AL 25HP	11/—		S-30 33.5	8.5	現在深度 137m
		2	T—15	10	146.3			5″AL 20HP	7.6/—		34.2/	10	同 145m
38	旭電化工業 K.K.（荒川区尾久町9の2,850）	1	S— 8	14	85	28～47.5 61～63 76～85		8″ BH 40HP	13/15	150	35/39.4	99.5	以下各井夏季は冬季に比し20%揚水量大
		2	S—10	12	152	112～124 139～144.5		5½″BH 30HP	28.5/31.5	27	35/39.4	14.6	
		3	S—11	14	212	192.5～208		5″ BH 40HP	27/35.5	25	34/39.4	16.3	
		4	S—12	14	303	190～215 280～287		6″ BH 60HP	27/40	150	33.5/39.4	28.1	排砂が著しい外も一般に排砂が多し
		5	S—13	14	196	99.5～105 116.5～119.5 137～150 190.5～195.5		6″ BH 60HP	27/36.5	175	35.5/40.8	37.1	
		6	S—12	14	212	145～150.5 157～163 194.5～207		6″ BH 60HP	27.5/41	140	34/40.8	40.1	
		7	S—14	14	212	98.5～107 181.5～195.3		6″ BH 60HP	29/35.5	120	34.2/40.8	80	夏季120m³/時で揚水水位44m
39	丸三製紙 K.K. 千住工場（足立区柳原町308）	1	S— 8	12～10	106	36.3～40.9 59～68.1 86.3～90.9 96.9～104.5		6″BH 35HP			S—30 25/—	72	ガス発泡，水位季節変化大
40	高崎製紙 K.K. 千住工場（足立区千住東町76）	1	S— 6	12	106	64～68 86.5～90		7″BH 45HP	26.5/40	145		135	（2井併用時，間隔60m現在1本のみ使用）
		2	S—27	14	136			7″BH 40HP	30/45	70			
41	日新工業 K.K. 東京工場（足立区千住東町93）	1	S— 4	—	155.5			4″BH 30HP			—/42.5	64	外に廃井2本
		2	S—初	10— 8	45.5			4″BH 15HP			36/—		
					—								
42	同 分 工 場（足立区千住曙町18）	1	S—29	10	106	36 90		6″BH 40HP			36/50？	60	
43	吉田製紙 K.K.（足立区千住東町58）	1	S—25	6	106	61～67 73～80 94～100		3″BH 10HP				4	井戸障害を認めない
44	東都冷蔵 K.K.（足立区千住橋戸町96）	1	S—24	12— 8	139	35～ 66～ 106～		6″BH 40HP			36.4/	30	相互に干渉がある地盤沈下の被害はない
		2	S—31	12	91	36.5～40 45.5～60 68～70		5″BH 25HP			36.4/	45	
45	日本皮革 K.K.（足立区千住緑町16）	1	S— 14	14	163	32～37.5 59～62.5 110.5～119.5 124～133		5″BH 40HP	25/34.2	90			
		2	T— 14	12½	193.5	57.5～62 83～87 109～121 160～168 189.4～194		6″BH 40HP				40	排砂多く40m³/時にしぼつて使用
		3		14	76	60		5″BH 40HP					
		4		14	76	60		5″BH 40HP			30/35	125	24時間運転
		5	S— 9	15	97	37～40.5 57～60 83～91.5		5″BH 30HP	24/31.5	60			外に廃井2
		6	S— 6 S—29	10	93	46～49 59～63 85.5～92		5″	17/24	50			調査当時休井
		7		16	142			5″				125	24時間運転，30mまで排砂防止のため二重管

工場番号	工場名（所在地）	井戸番号	掘鑿年度 T大正 S昭和	井戸側管孔径 (m)	掘井深度 (m)	収水層深度 (m)	ポンプおよび揚水動力の種類大きさ	設井当時の自然水位 揚水水位 (m)	設井当時の揚水量 (m³/m)	調査当時の自然水位 揚水水位 (m)	調査当時の揚水量 (m³/時)	備考
46	東京電力 K.K. 千住火力発電所（足立区千住桜木町）	1	T—14	12	161		6″BH 30IP				70	
		2	S— 4	8	76		3″BH 10IP					補助として使用
47	日建製紙 K.K.（足立区千住元町69）	1	S— 3	8	75.8	51～56 68～73	4″BH 10IP	7.5/		S—28 22.5/	24	同
		2	S—10	12	132.5	51～56.5 66.5～ 77.5 120～128	5″BH 40IP	14.5/		S—29 22.5/	52	井戸障害を認めない
48	日清紡績 K.K. 西新井化成工場（足立区栗原町1,090）	1	S—10	12	75.5	55 65	6″BH 35IP			22/24.2	90	井戸周辺の陥没著しい
		2	S—10	12	75.5	55 65	6″BH 30IP			22/24.2	75	抜け上がり8年間に0.4 m
		3	S—31	12	(151.5)						(120)	調査当時掘鑿中
49	日新染布 K.K. 本社工場（足立区与野町383）	1		12			6″BH 30IP				80	16時間分断続使用
		2	S—24	12	112		6″BH 25IP				60	12時間連続沈下の影響がある
50	島田軽金属工業 K.K.（足立区梅田町458）	1	S—24	8	97	55 90～97	4″BH 15IP					
		2-4	S—初	2			AL 3IP					
51	東京田辺製薬 K.K. 梅田工場（足立区梅田町600）	1	S—13	6	163		3″BH 7.5IP			30？/		夏季 梅田上水源井の揚水の影響により揚水困難となる
		2	S—16	8	145		5″BH 20IP			30？/		
52	東武鉄道 K.K. 西新井工場（足立区梅田町403）	1	S—29	12	106		3″BH 15IP				30	
53	東紅織物 K.K. 東京工場（足立区梅田町430）	1	S—10	8	127		3″BH 7.5IP			—/22？	20	
54	東京毛絲紡績 K.K. 東京工場（足立区梅田町316）	1	S—29		38		ピストン					調査当時消火用に供しており温調用に掘鑿予定中
55	相模製紙 K.K.（足立区本木町5の4,388）	1			45.5		AL					使用しない
		2	S—28	6	60		3″BH 7.5HP					
56	東京セロファン紙 K.K. 東京工場（足立区南鹿浜町61）	1	S—80	12—10	200.5	133～139 161～166 181～193 197～200	6″BH 25IP	3 9/11.5	125/190	—/27.2	90	
		2	S—27	12	91	67～82	6″BH30IP			/27.2	95	
		3	S—31	12	230		6″BH 50IP				150	調査当時未使用
57	東京都足立区水道局梅田水源	1		12	150	93～107 119～123	6″BH	13/22.4	110			
58	同 栗原水源	1		12	142.5	85～92 96.5～106 112～116	6″BH			—/46.5	170	井戸台枠の亀裂著しい
59	同 本木水源	1		12	142.5	49～58 67～74 114～125	6″BH	11.3/29.4	100			
60	同 鹿浜水源	1		12			6″BH					
61	宝酒造 K.K. 王子工場（北区船堀3の7）	1	S—29	14	181.5	08～112 117～123 134 ～146 151～156 162～174	6″WP 70IP	S—29 19.5/		S—31 23/29	60	24時間運転
		2	S—22	8	197	63～69 112～118 130～ 136 138～143 167～177	4″BH 15IP				12.5	15時間運転、震動大
		3	S—24	12	106	61～66 77～83 101～106	6″BH 35 IP			—/30.2	50	1号井により2, 3号井干渉

62	第一工業製薬K.K.東京工場（北区豊島4の8）	1	S－12	10	60		4″BH 15HP			S-30 -/36.5	40	S—31，10月以降揚水不能
		2	S—30	12	182		6″BH 40HP			S-30 30/35.3	50	
63	日本油脂K.K.王子工場（北区豊島4の13）	1	S— 6	$12\frac{1}{2}$/— 10—8	180.5	108～124.7 170～175.5	5″BH 25HP		58	28.4/28.5	17	8時間運転
		2	S—12	10	72.5	23～29 40～45.5 67.5～72.5	4″BH 20HP		33	—/24.5	10	13 〃
		3	S—12	10—8	11.2	69.5～77.5 106.5～112	4″BH 25HP		33	32.2/—	30	6 〃
		4	S—17	10	151	86～104	3″BH 15HP		34	30/34.2	34	22 〃
		5	S—26	12	181.5	115.5～132.5 170～176.5	5″BH 40HP		75	—/39.8	37	18 〃
64	日産化学工業K.K.王子工場（北区豊島5の4）	1	S—31	12	181.5		5″BH 25HP			20/35	75	硫酸1号
		2	S—26	10—8	154		7″BH 50HP	10/20	150	27/32.5	60	同 2号
		3	S—21	10	150.5		6″BH 30HP	19/24	75		52	電解1号，井戸側湾曲折する
		4	S—12			45 75	6″BH 40HP		75	36.3/—	46	無機1号
		5	S—26	12	151		7″BH 50HP	19/24	150	32/—	33	同2号，沈下の影響著しい
		6	S—31	14	181.5							東京有機化学工業K.K.用電解2号
		7	—	14	151							
65	保土谷化学工業K.K.東京工場第一製造所（北区王子3の72）	1	S—10	12	212		7″BH 40HP			/30+	102	旧陸軍造兵廠所有，沈下の影響がある 外に休井1
		2	S—31	12	151.2		7″BH 50HP			21/28.5	102	
66	十條製紙K.K.十條工場（北区王子5の1）	1	S— 8	14	212		7″BH 40HP		187	20/30	80	
		2	S— 5	14	212		8″BH 50HP			20/28	125	
67	日本加工製紙K.K.王子工場（北区上十條町2）	2	S—14	10	184	151～175	5″BH 30HP	9.7/13.7	65		61	S—28に渇水した
		3	S—28	14	121	38～42.5 59～62 67～74 101.5～110.5	6″BH 40HP		112			排砂が著しい，2号と交互に使用
68	印刷局王子工場（北区王子1の400）	1	S— 5	12	332		6″AL 50HP				47	冬季休井
		2	S— 6	10	266		6″AL 50HP				65	
		3	S—15	10	197		5″BH 25HP				98	
69	日本フエルト K.K.王子工場（北区豊島8の30）	1	S— 5	8	202.5	124.5～129.8 167～172.5 185～191 193.5～196.5	4″BH 20HP	自噴/—		S—30 28/32	56	沈下の影響一般に著しい
		2	S—10	12	199.7	124～130 178～ 187.5 190～197	6″WP 50HP	S—30—8 30/36	120	S—31—12 —/27.5	50	1.3mの干満差がある
		3	S—14	12	201	186～193.6 196～201	6″BH 50HP			—/27.5		排砂半年でリヤカー$^2/_3$杯 2号の運転により水位33.5mにまで低下する
70	保土ケ谷化学工業K.K.東京工場第2製造所	1										
		2										
		3										
71	日本製紙K.K.（北区袋町1の2,050）	1	S—10	14	254	195～220 235～250	7″BH 40HP	自噴/—	137	S-31-7 /24 S-31-12 /21.5	—	
		2	S－11	14	182	45～50 65～75 165～180	7″BH 40HP	〃	210	S-31-7 /20.3 S-31-12 /24	—	
		3	S—16	14	106	30～40 50～60 70～75 95～105	7″BH 30HP	〃	75		—	
		4	S—16	14	106	50～60 70～75 95～105	7″BH 30HP	〃	75		—	
		5	S—26	14	182	65～75 110～120 140～145 170～180	6″WP 40HP	—	150	S-31-7 /19.5 S-31-12 /19	—	

工場番号	工場名（所在地）	井戸番号	竣工年度 T大正 S昭和	井戸側管径 (m)	竣井深度 (m)	取水層深度 (m)	ポンプおよび揚水動力の種類大きさ	竣井設当時の自然水位 (m)	竣井設当時の揚水量 (m³/時)	調査当時の自然水位 (m)	調査当時の揚水量 (m³/時)	備考
		6	S—30	14	257	—	6″WP 50HP	—	185	S-31- 7/21.5 S-31-12 /25	—	
		7	S—31	14	272	184～197 207～224 250～263	7″WP 90HP	24/30.5	227	24/30.5	227	ランナー 57.5m
72	日本化薬 K.K. 王子染料工場第1工場 （北区志茂町2の1,826）	1	S—12	9½	109	61～66 72～74 98.5～114	5″BH 30HP			S—28 12/21	18	
		2	S—26	12	106	61～63 66～67.5 74～ 77.2 99～100.5 102～104	5″BH 25HP	11/—		S—28 12/21	25	
73	同 第2工場 （足立区新田上町470）	1	S—24	10	106		5″BH 20HP	S—29/12	70	15.3/24	17	
		2	—	4	40？		4″BH 15HP		15		5	休井
74	大日本セルロイド K.K. 東京工場 （板橋区小豆沢町4の1）	1	—	—	91							現在廃井
		2	S—19	10	181.5	172.5～181.5	4″BH 15HP			11.5/13	75	
		3	S—31	12	91	38.7～65 76.5～80.5	5″BH 15HP			13.5/14.2	75	
75	志村化工 K.K. （板橋区長後2の13）	1	S—11	12	97		7″BH 50IP	自噴/7.5		/6.5	150	
		2	S—30	12	75.5	27～33.3 41.5～47 62.5～72	5″BH 50IP	6/9.8			110	
		3	S—31	12	75.5	24～33 37.5～41.5 46.5～51 62～71	6″WP 32HP			7.7/15.5	120	
		4	S—31	15	184.5	70.5～75 90～94.5 110.5 ～120 142～147 176～181	6″WP 32IP			10.3/20	150	
76	大内新興化学工業 K.K. （板橋区志村前野町1,439）	1	S—17	10	109	30 65	BH 10IP	7.7/				
		2	S—11	10	121	30 65	BH 15IP	9.5/15	12.5			
		3	S— 7	12	121	30 65	BH 20HP	9/8.5	28			
77	日本特殊鋼管 K.K. 本社工場 （板橋区舟渡3の2,848）	1	S—15	6	76	22.8～39.5 61～76	3″BH 20IP×2				110	
		2	S—11	6	76	—	4″渦巻 25IP	S—26頃				調査当時3分間揚水するにかろうじてこの程度の砂排がある。am 9 hとpm 3 hの水位差1 mにおよぶ
		3	S—25	8		—	3″BH 10HP	自噴			30	
78	凸版印刷 K.K. 板橋工場 （板橋区志村町5）	1	S—13	12	85	24～27 45 82	7″BH 30IP			33.3/35	112	
		2	S—13	12	85	〃	7″BH 30HP			31/35.5	90	3m/年の水位低下
		3	S—24	12— 8	145	？ 106～112	7″BH 40HP			36.3/38	90	
		4	S—31	14	136	27 90以下2層	6″WP 40HP			33.3/36	135	
79	オリエンタル酵母工業 K.K. 東京工場 （板橋区志村2の1の6）	1	S· 4	6	77	39～42 53～57.5 68～70	3″AL 10IP	S—26 18/18.5	15	33/		2.5m/年の水位低下
		2	S— 8	8	76.5	36～40 54～58 68～78	4″BH 10IP	S—26 19/20	34	33/		

	3	S—23	10	75.5	26～30 39～44 54～59.5 70～75.5	4″BH 15HP	S—26 21.5/26.5	53	33/			
	4	S—25	12	98.3	39～49 54～59 67.5～76.5 88～92	5″BH 25	S—26 25/26	150				
80 大日本インキ製造K.K.東京工場（枝橋区蓮根町3）	1	S—13	8	91	—	3″BH 10				22.5	井戸側管の抜け上がり3.1cm	
	2	S—13?	10	151	—	4″BH 20				38		
	3	S—29	12	130	—	5″BH 35 T—20HP連動	9/—		15/17	120	台地コンクリートの亀裂が多少ある	
81 第一硝子K.K.本社工場（板橋区舟渡町2,385）	1	S—29	6″	60		3″BH 7.5HP				50	台地コンクリート亀裂が生じている	
							—	—	—	70		
82 山之内製薬K.K.蓮根工場（枝橋区蓮根町3）	1	S—24	10″	60	36～39 42.3～46 53～56	4″BH 30		90				
					72.5～83		10/19.5	165	11/15	60	110m³/時まで揚水可	
	2	S—31	14″	183	153～175.2	6″WP 32						

ポンプが持ち上がるため吐水管が撓み，ポンプ室の壁を破壊するという現象がほとんどの工場，ほとんどの深井戸に見受けられる。

これに加えて，この地域ではその主要な収水層が砂層であるために一般に深井戸は過剰揚水になつていなくても排砂を伴ない勝ちで，多くの井戸がその脇に排砂でできた砂山を築いている．排砂が著しいために必然的に井戸周辺の陥没が生じる率も高く，井戸管理上の大きな障害となつている。水質には概して恵まれているとはいえ，冷却用に供せられる割合の大きい工業用水確保の面からみれば，これらの井戸障害をも含め，この地域の揚水條件はいまや全国的にも最悪の部類に属せられるのではないかと思われる。

4. 水利用の現況

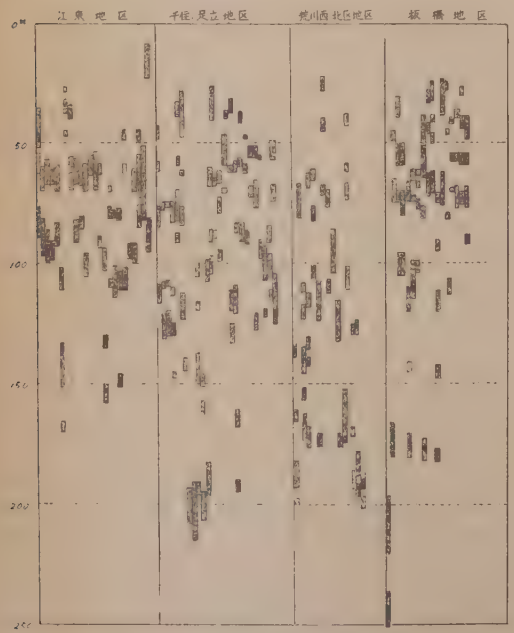
東京都が土木技術研究所を通じて行つていた地盤沈下調査のなかには，地盤の水準測量，観測井による沈下量および地下水位の変化の測定のほかに，工場・商社などの深井戸揚水量の聴き取り調査が含まれている。この揚水量の調査はすでに5回にわたつており，その時間的変化，季節的変化などもかなり詳細に示されている。最近では昭和30年8月，12月および31年3月の3回にわたり，江東・墨田・荒川・足立・江戸川・葛飾6区にまたがる隅田川・荒川放水路間に所在する185工場，270本の深井戸を調査し，揚水総量が夏季117,500 m³/日，冬季には10％内外減少することが報告されている。また12月の調査では，隅田川の右岸，荒川放水路の左岸をも含む前記6区の全域にわたる381工場，551本の深井戸を対象として調査しており，その揚水総量224,400m³/日に達すると記載している。

元来江東・都北の一円では，河川・運河の水が塩水遡上限界内にあるため，地下水，しかも深層の被圧面地下水が工業その他の用水源におもに利用されてきており，大正年代から多数の深井戸鑿井が行われる一方，最近では工場の拡張・新設に伴ない激増の一途をたどつている。特に都北，板橋・北両区では上水道の不備な点も加わつて地下水源依存の傾向が強い。土木技術研究所の調査によると，前記270本の深井戸のうち，大正年代の鑿井にかかわるもの9％，昭和元年以降同20年までのもの47％，同21年以降のもの44％となつており，特に最近数年間と昭和10年前後のものとが最多数を占めているが，井戸の寿命を考慮すると，井戸濫掘の渦中にあつて30～35年以上の年令の井戸が，なお相当数残つていることは，当時の井戸が良質の井戸側管を用いていた理由にもよるが，多数掘鑿されて利用されていたことをも示している。

一部上水道水源を含む工業用水源についての当所の調

査結果は，第2表および第3表に示した通りである。用水型の工場を主とした約80事業所であるが，江東・墨田・荒川・足立・北・板橋の6区と江戸川区の一部（荒川放水路右岸）とで，すでに井戸数218本，その揚水総量210,000 m³/日，このほかに河水および海水の取得量1,000,000m³/日余となつている。別に用水量からみると比較的少ない，中小工場の取得水量を東京都の調査資料から求めて加算し，上水道水の使用量，葛飾・江戸川両区の未調査推定分をも加え，さらに夏季冷却用水が最も多量に必要になる時期を考慮すると，東京都東部の一円での工業用地下水は軽く300,000 m³/日程度に達する。

調査地域内の工場の分布は第2図に示してある通りで，ところどころに集団をなしてはいるが，全体としてみると臨海工業地帯のように，ひとかたまりにはなつていない。しかし利用されている地下水の方からみると，ほとんど同じ供給源の一連の帯水層が上流から下流にわたつて利用されていることになるので，限られた面積のなかでのその地下水利用量は，他の地域に比較して充分大きな方の部類にはいる。



第3図 東京江東および都北地区における工場深井戸収水管の分布

この調査地域における深井戸群の収水濃度（収水深度既知の深井戸に関する限り）は第3図のようにまとめられる。全体として比較的湧出能の大きな上層位の帯水層から開発・利用がはじまり，漸次深部の帯水層が利用されるに至つており，現在では250 m前後の深度まで収水されている。工場により揚水量を加減して慎重に揚水しているところもあるが，また一方4,000～5,000 m³/日の揚水を行い，工場敷地内の数本の井戸群の相互干渉を生じ，附近一円に著しい水位低下を生じているところもあり，逐年利用量の増加も手伝つて全域にわたり著しい水位低下を認めるに至つている。江東・墨田両区では1年に1.5 m，都北の一部では1.5 mあるいはそれ以上の割合で急速な水位低下が生じている。特に両3年来水中モーターポンプが使用し出されたため，その低下に拍車がかゝつたかたちである。

第4図は調査当時の揚水水位であるが，この程度の広さの土地全体にわたり，かくも深くまで低下しているところは他の地盤沈下地域にもまだ例をみない。

この調査地域の帯水層は，元来比較的湧出能が大きいのであるが，100 m以深ではおもに砂層を収水層としている関係上，揚水に伴なう排砂は全国的にみても顕著な部類に属している。排砂に伴ない井戸周辺の陥没もまたしばしば大規模に起こつている。特に上位の湧出能の大きい帯水層に期待をかけ，大量の揚水を見込んだような井戸は，水位の低下，上位帯水層の湧水量の減少により，深部の砂層中の水を無理に吸引する結果，排砂の量が目立つて多い。

第4表 調査地域内における水頭低下の記録例

井戸別	年度（昭和）	静止水頭（m）	1年当りの低下量（m）
江東地区			
花王石鹸K.K. 東京工場1号	25	23	1.5
	29	29	3.7
	31	36.4	
同 3号	29	21.2	6.7
	31	34.5	
都北地区			
オリエンタル酵母工業K.K. 2号	4	18.2	0.15
	8	18.8	0.18
	23	21.5	1.4
	25	24.3	1.0
	29	28.2	1.6
	31	33.4	

こうして沈下による井戸側管の抜け上がり，井戸台枠基礎の破損などとともに，この地域の深井戸の利用は，その利用規模の大きい場合としてわが国各地域のうちでも，最悪の状態に追い込まれているものと認められる。

5. 容水地盤としての地下地質

調査地域全体として，信頼度の比較的高い鑿井地質図

第4図 東京江東および都北地区における工場深井戸水比抵抗と揚水水位

が100以上蒐集できる。もちろんこれらはすべてロープングによるものであり，またその鑿井に携わつた業者の数も10指にあまるほどであるから，資料を相互に比較，吟味するにはいさゝか不充分であるが，概略の地下地質は推定できる。

蒐集した鑿井地層図のうち主要なものを第5図に示したが，全体としては砂・砂礫・粘土混り砂礫・粘土混り砂・泥質粘土～粘土などの地層がそれぞれレンズ状となつて錯雑した状態で堆積しており，その地理的連続性を個々に確かめることはかなりむつかしい。日産化学工業K.K. 王子工場の井戸群については比較的連続性が認められるが，数本の深井戸を有する他の工場では水平方向に地層を連ねることが困難なのが普通である。介殻を含む地層，あるいは軽石を含む地層が地層図のなかに示されており，いかにも地層の特徴を示すかのように認められるが，実際の鑿井現場に立会うと，特に介殻などは深浅随所に発見されており，特定の層準を指示するように取り扱うことはできない。

多くの深井戸は深度200 m程度までに止まつているが，なかには200 m以深のものがあり，最も深いものは330 m余にも達している。しかし鑿井地層断面が明らかなものに関する限り，200 m以深のものも200 m以浅のものとの間には顕著な地質的相違がなく，少なくも300 m程度まではほゞ一連の地層とみなすことができる。

たゞ鑿井地層図を仔細に検討すると，

1. 板橋・北両区では100 m以浅に砂層が比較的厚く分布している。

2. 足立区では一般に泥質の堆積層が厚く，砂礫の分布が乏しくなつている。

3. 北区では120 m前後から，また荒川区では200 m前後から深部に至つて地層の固結度が高くなる傾向を示している。

図版1　大量の揚砂に伴なつて生じた井戸周辺の陥没。井戸台枠のコンクリート基礎がもちあがると同時に大きなほら穴が生じている。足立区西新井町日清紡績工場深井戸

4.　また江東地区，特にその南部では全体として細粒の地層となつている。

調査地域全体として収水層は砂礫層が過半を占めているが，砂層も多数利用されている。砂礫中の礫片は一般に細礫に富み，大きな礫片は含まれていない。しかし砂もまた中粒程度以下の部分が多く，それが揚水に伴なう排砂を促がしている。

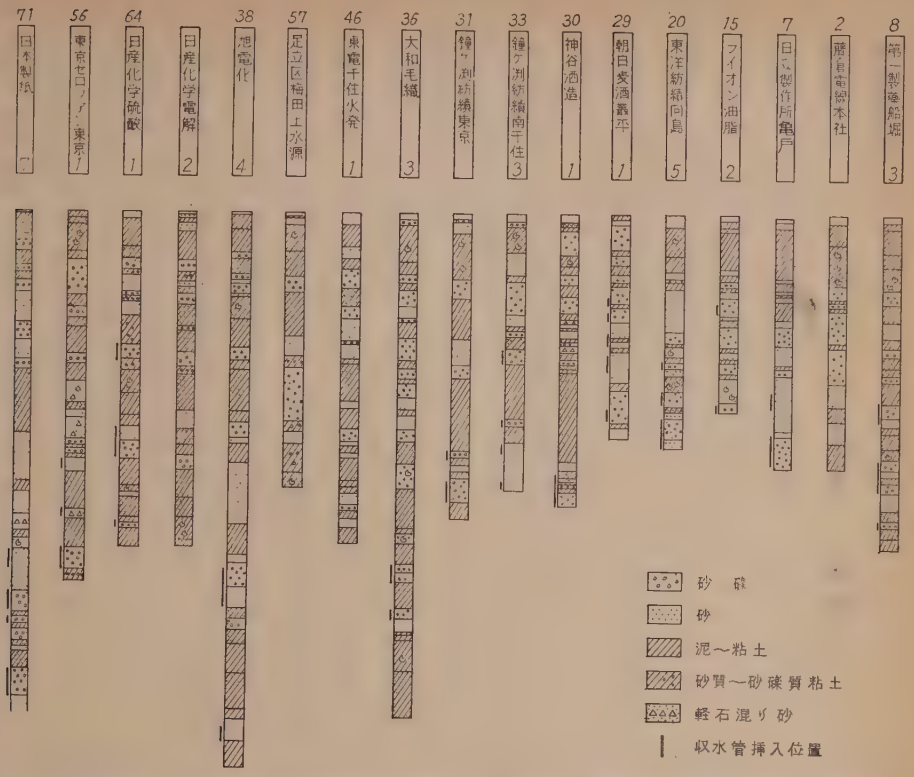
帯水層が連続性に乏しいうえ，深井戸群が多層収水を行つている関係上，深井戸水試料から深度別に地下水層を区別することはかなり困難であるが，全体としてみると地理的，深度別の相違がほゞ推定できる。

6.　地下水理

6. 1　地下水の地理的および垂直的分布

水質の詳細な分析結果は別として，井戸揚水量と水比抵抗の測定値とにより，概略的に地下水の分布を追跡すると，まず北区豊島日産化学工業 K. K. 王子工場附近から上流側では，深度にかゝわらず湧出能力の大きい，かつ水比抵抗 7,000 Ω-cm 以上の地下水が分布しており，その流動の方向は荒川の流路とは平行せず，むしろ北北東，蕨町・浦和市に通じる方向となつている。しかし板橋区舟渡の日本特殊鋼管 K. K. の深井戸が最近までヒューガルポンプで揚水できていたように水位も浅く，かつ収水層も浅くて，水比抵抗の高い（9,000Ω-cm 台）地下水が得られる事実などから，この透水帯の供給源は，おそらく荒川であり，しかもその表流伏没地点は比較的近

図版2　地盤沈下によつて生じる井戸台枠のコンクリート基礎の破砕状況。井戸側管が抜け上がり，それに伴なつてコンクリートに亀裂がはいり，修理せずに放置するとこの写真のようになる。墨田区吾嬬町明治製革の工場深井戸



第5図　東京都江東および都北における工場用深井戸掘井地層図（その一部を示す。最上段の番号は第2図に示した工場の番号を示す）

くにあるものと考えられる。

日産化学工業 K. K. 王子工場から南東に向かうに伴ない，湧出能力の大きい，かつ水比抵抗の高い水はその分布が限られてくる。すなわち旭電化工業 K. K. 尾久工場ではこの水比抵抗の高い水が深度 100 m以下に分布するようになり，これより浅い 100m 以浅の部分には 5,000 Ω-cm 以下の地下水が分布している。

さらに足立区千住，荒川区南千住附近に至ると，5,000 Ω-cm 以下の水比抵抗の水が深浅を分かたず広く分布し，比較的湧出能の大きく，かつ水比抵抗の高い水は深度80～130 m 間に限られ，地理的にも帯状に狭められる。しかしこれらの地下水も江東地区にはいると，中川運河北詰，北十間川および隅田川吾妻橋を連ねる線で，その南下を遮られたかたちとなり，これ以南に至ると，2,000 Ω-cm 以下の塩水を多量に混じた地下水分布地区（Cl^- 200 mg/l 以上の塩水混入地区）となつている（第4図参照）。

この中川運河北詰，北十間川および吾妻橋を連ねる線に沿う水比抵抗の関係はかなり急激な変化を示しており，またその南側 2,000 Ω-cm 以下の部分で隅田川寄り江東区の大部分は，1,000 Ω-cm 以下の地下水分布地帯となつている。この一帯ではまた一般に湧出能も都北地区に比較すれば乏しくなつており，塩水の補給を受けて揚水量を維持している井戸が多い。しかし江戸川区小松川所在の日本化工 K. K. 小松川第2工場では，深度60～70m間の地下水は有機物に富んでいるが，湧出能が比較的大きいのが冷却用に，また 90～100 m間の地下水は湧出能は小さいが比較的良質であるので汽罐用にというように選択利用されている例もみられる。

6. 2　地下水温

調査地域全体として被圧面地下水は 16°C 台から 22°C に至る水温を示している。

比較的供給源に近いと推定される板橋区は 16～17°C 台で止まり，北区にはいり 200 m程度の深度の井戸で19～20°Cを示すが，一般には深浅各層から収水される関係上 17～18°C 台となつている。荒川区旭電化工業 K. K. では深度 180 m以深が 19～20°C，100～150 m 間が 17～18°C，80 m以浅が 16°C 台で深度別に最も明瞭に区別できる。

第5表（a） 東京都江東および

No.	試料採取場所	水温 (°C)	pH	RpH	Dis. O_2 (cc/l)	freeCO_2 (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	Cl^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)
1	東都製鋼北工場井戸	17.9	8.3	8.3	—	0.0	652	1214.1	測定不能
	〃 南工場井戸	17.7	8.5	8.5	—	0.0	668	1803.4	3.50
2	藤倉電線 K.K. 本社工場井戸	18.8	7.3	7.5	2.32	11.9	560	859.1	0.000
4	隅田冷凍工業 K.K.	18.7	7.4	7.7	1.76	12.3	422	546.7	0.000
5	三菱鋼材 K.K. 本社製作所圧延井戸	18.5	7.9	8.0	—	0.0	468	2843.6	1.520
6	日東化学工業 K.K. 中川工場2号井	19.5	7.6	7.7	0.71	1.0	161	133.0	0.005
	〃 中川工場5号井	17.7	7.5	7.8	1.47	7.8	415	1114.7	0.000
11 ～ 13	日本化学工業 K.K. 小松川工場北工場1号井	17.5	7.8	7.9	5.61	1.0	382	383.4	4.10
	〃 南工場4号井	18.5	7.7	7.9	4.11	0.0	195	374.9	0.01
	〃 第2工場井	18.4	7.5	7.8	0.14	3.7	88	178.9	0.000
14	日産化学工業 K.K. 小松川工場2号井	18.0	7.7	7.9	3.92	3.3	329	134.9	0.000
15	ライオン油脂 K.K. 平井工場3号井	18.5	7.7	7.9	0.26	2.7	281	154.8	0.005
	〃 1号井	20.5	7.7	7.8	4.33	0.5	128	8.2	0.39
16	日本化学工業 K.K. 亀戸工場1号井	17.8	7.8	7.6	0.32	6.7	287	116.4	0.003
	〃 4号井	17.6	7.7	7.9	—	0.0	275	119.3	2.95
17	明治製革 K.K. 井戸	20.3	7.9	7.9	0.83	0.0	137	7.1	0.08
19	化王石鹸 K.K. 東京工場1号井	18.3	7.3	7.5	0.29	13.0	327	144.8	0.000
	〃 3号井	20.3	8.0	8.0	0.58	0.0	173	32.7	tr.
20	東洋紡績 K.K. 向島染色工場5号井	19.5	8.0	8.0	2.08	0.0	173	14.9	0.000
	〃 4号井	19.5	7.9	8.0	0.58	0.0	184	51.1	2.21
21	第一製薬 K.K. 柳島工場 12″井号	—	7.8	7.8	1.94	0.0	107	8.5	0.005
	〃 8″井号	19.7	7.8	7.8	1.66	0.0	129	29.1	1.54
24	K.K. 青木染工場1号井	18.8	7.6	7.8	3.59	4.4	313	318.1	0.000
27	江東冷蔵 K.K. 井戸	16.7	7.7	7.9	2.49	3.2	359	312.4	tr.
28	朝日ビール K.K. 吾妻橋工場3号井	16.7	7.3	7.5	1.51	45.0	543	4224.5	0.008
	〃 1号井	16.7	7.4	7.7	2.87	11.8	389	1310.0	14.50
29	朝日ビール K.K. 業平分工場旧井戸	18.9	7.5	7.7	0.47	10.4	246	536.1	2.85
31	鐘淵紡績 K.K. 東京工場5号井	17.4	7.4	7.8	0.43	5.4	241	36.9	0.005
	〃 2 〃	16.5	7.8	7.8	0.35	0.5	126	4.3	0.30
32	大日本紡績 K.K. 東京工場1号井	17.9	8.0	8.0	2.36	0.0	165	16.7	1.20
	〃 3号井	18.7	7.9	7.9	1.14	0.0	158	13.2	0.07
33	鐘淵紡績 K.K. 南千住工場3号井	18.3	7.9	7.9	1.53	0.0	168	12.1	0.12
	〃 1 〃	—	8.0	8.0	5.37	0.0	107	2.3	0.09
34	東京ガス K.K. 千住工場3号井	18.7	7.9	7.9	1.29	0.0	114	5.0	0.85
	〃 荒川	—	6.5	7.0	0.37	12.0	66	54.7	0.005
40	高崎製紙 K.K. 千住工場1号井	17.2	7.8	7.9	0.66	0.0	206	20.0	0.05
	〃 浅井戸	18.8	6.2	6.6	0.66	104.0	173	39.7	0.000
41	日新工業 K.K. 分工場井戸	17.6	7.6	7.7	2.96	1.3	167	21.3	2.28
45	日本皮革 K.K. 2号井	18.0	7.6	7.8	2.50	0.8	140	17.7	0.005
	〃 5 〃	17.3	7.7	7.8	1.39	1.8	137	18.8	0.02
46	東電千住火力発電所井戸	18.6	7.7	7.8	0.77	0.0	104	2.3	1.00
48	日清紡績 K.K. 西新井化成東井戸	16.0	7.4	7.6	5.03	7.5	210	27.3	2.16
	〃 南井戸	16.9	7.8	7.9	4.48	0.0	252	28.4	0.000
57 ～ 59	東京都水道局栗原町ポンプ場井戸	16.8	7.4	7.7	0.40	1.7	173	24.1	0.005
	梅田 〃	17.2	7.8	7.8	6.94	0.0	163	11.4	0.000
	本木 〃	17.3	7.6	7.7	0.62	1.5	128	8.2	0.005
—	乳熊味噌福住醸造所井戸	17.5	7.5	7.7	1.16	9.8	420	1079.2	0.002
—	K.K. 清水井商店	—	7.3	7.7	1.96	15.8	388	295.4	0.000

び都北工場用深井戸の水質

SO_4^{2-} (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Fe^{2+} (mg/l)	Fe^{3+} (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	全硬度 ドイツ	total SiO_2 (mg/l)	$KMnO_4$ cons (mg/l)	P (mg/l)	ρ (Ω-cm)	備考
0	tr	0.00	1.89	91.3	66.0	28.00	44.0	32.4	0.01	380	
11	0.1	0.02	0.13	19.2	48.6	14.01	50.0	39.3	0.45	380	
0	1.6	0.11	1.43	68.2	50.2	21.13	58.8	21.2	0.10	540	
0	0.9	0.78	0.57	50.8	49.1	18.44	57.6	13.3	0.10	800	
18	3.9	0.00	0.59	69.2	99.8	32.61	57.2	31.6	tr.	320	
tr.	1.0	0.05	0.11	33.0	9.2	6.73	48.4	14.2	0.36	2,400	
tr.	3.0	3.00	2.07	103.7	54.6	27.11	48.4	16.1	0.18	400	
0	2.7	0.03	0.22	44.6	20.1	10.88	48.8	19.0	0.92	1,150	
0	2.5	0.00	0.05	73.5	28.4	16.84	51.6	7.0	0.07	1,050	
0	0.3	0.22	0.08	23.2	10.9	5.77	47.6	10.5	0.81	1,550	
0	1.7	0.03	0.54	26.6	10.9	6.23	48.0	16.5	1.16	1,500	
0	2.0	0.00	0.08	50.6	15.2	10.59	50.0	9.2	0.45	1,600	
0	tr.	0.00	tr.	10.6	3.4	2.26	60.4	11.7	0.27	6,600	
0	2.7	1.16	0.00	10.4	5.6	2.74	43.6	14.2	1.64	1,700	
0	0.1	0.03	0.08	40.9	12.3	8.46	61.6	9.9	0.13	1,750	
5	0.7	0.00	tr.	10.8	3.6	2.35	74.0	7.5	0.15	6,200	
tr.	0.7	1.63	0.30	20.5	12.6	5.66	56.8	7.4	0.07	1,700	
0	1.5	0.00	0.05	8.0	5.9	2.38	—	4.4	0.09	3,900	
0	0.7	0.03	0.03	11.1	4.1	2.49	58.4	8.4	0.11	4.500	
1	0.7	0.00	0.08	26.1	8.0	5.51	62.8	13.8	0.09	3,100	
0	0.0	0.00	0.02	5.8	3.9	1.59	58.5	1.8	0.10	8,700	
1	0.0	tr.	0.04	15.0	4.8	3.11	59.6	10.1	0.11	4,400	
0	0.4	0.09	0.09	43.9	45.3	16.48	64.0	7.5	0.04	1,300	
5	1.7	0.00	0.60	32.1	33.6	12.26	48.0	10.8	0.07	1,150	
421	3.3	7.16	8.37	225.9	268.4	93.53	56.4	9.1	0.03	150	
165	0.1	1.08	0.59	127.7	72.1	34.49	54.8	22.5	tr.	370	
61	tr.	1.00	0.15	122.4	73.5	33.03	58.0	10.6	0.00	920	
0	1.7	0.16	0.04	24.4	9.1	5.51	50.0	5.6	0.60	2,800	
0	0.5	0.00	0.02	11.9	3.1	2.39	62.4	4.0	0.34	6,800	
0	0.8	0.00	0.01	10.6	7.3	3.17	59.2	3.9	0.14	4,700	
0	0.2	0.00	0.05	14.7	6.2	3.49	56.4	12.0	0.12	5,000	
0	0.6	0.00	0.03	13.0	5.4	3.08	55.6	4.7	0.18	5,400	
0	0.2	0.00	0.04	11.5	2.7	2.23	65.6	2.6	0.21	8,600	
0	0.1	0.00	0.02	13.9	2.7	2.57	58.0	8.4	0.17	8,000	
53	1.5	0.21	0.68	22.4	6.4	4.60	68.8	29.8	0.30	3,400	
2	1.1	0.08	0.09	22.7	8.5	5.14	40.0	14.0	0.13	4,700	* 印は現場測定不能のため滴定法で全鉄として求めた値
496	0.9	—	*30.16	123.9	26.3	23.41	43.2	15.9	tr.	2,100	
0	0.5	0.02	0.24	10.4	5.3	2.67	44.4	11.6	0.38	5,400	
0	0.1	tr.	0.18	19.0	5.5	3.92	55.6	8.2	0.11	5,400	
0	0.1	0.12	0.17	19.2	5.7	4.00	55.6	9.5	0.11	5,300	
0	0.0	tr	0.03	14.6	2.5	2.63	40.4	4.5	0.17	8,400	
0	0.2	0.15	0.48	11.9	3.0	2.36	48.0	5.4	0.39	3,500	
0	0.3	0.00	0.14	18.6	4.5	3.64	52.4	5.2	0.27	4,100	
0	0.4	0.11	0.19	15.5	5.0	3.31	34.4	1.7	0.39	6,100	
0	0.2	0.00	0.02	9.8	2.8	2.01	29.2	6.3	0.28	7,100	
0	0.2	0.07	0.16	14.6	3.7	2.91	44.4	2.1	0.15	8,200	
5	2.2	0.31	1.01	53.6	60.7	21.52	47.2	14.5	0.18	540	
0	0.4	1.75	0.63	36.2	27.9	11.49	56.8	8.5	0.23	1,500	

（31年6月調査）

第5表（b） 東京都江東および

No.	試料採取場所	水温 (°C)	pH	RpH	Dis. O_2 (cc/l)	freeCO_2 (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	Cl^- (mg/)l	NO_2^- (mg/l)
37	東京電力 K. K. 隅田火発1号井	19.0	8.1	8.1	—	0.0	87	1.9	0.00
38	旭電化工業 K. K. 1号井	16.6	7.8	7.8	0.73	0.0	234	18.8	0.02
	〃 2号井	17.9	8.0	8.0	0.69	0.0	102	5.4	0.05
	〃 3号井	20.1	8.3	8.3	0.72	0.0	108	1.8	0.00
	〃 4号井	20.1	8.4	8.4	0.21	0.0	122	2.6	0.13
56	東京セロファン紙 K. K. 東京工場1号井	19.2	8.1	8.1	0.67	0.0	84	1.7	0.03
	〃 2号井	17.9	7.7	7.8	0.61	0.5	96	8.5	0.40
61	宝酒造 K. K. 王子工場1号井	18.7	8.0	8.0	0.95	0.0	92	2.9	0.04
	〃 3号井	17.0	7.8	7.8	0.66	0.0	119	7.7	0.02
62	第一工業製薬 K. K. 東京工場2号井		7.8	7.8	1.01	0.0	86	1.7	0.19
63	日本油脂 K. K. 王子工場1号井	19.0	8.1	8.1	0.19	0.0	87	3.0	tr
	〃 2号井	—	7.2	7.8	0.49	4.5	168	1.7	0.005
64	日産化学工業 K. K. 王子工場硫酸1号井		7.9	7.9	3.16	0.0	85	2.4	0.01
	〃 電解井戸	(17.8)	6.9	7.3	0.57	11.9	121	22.6	0.20
65	保土谷化学工業 K. K. 東京工場1号井	(19.7)	8.1	8.1	1.00	0.0	97	1.7	tr
	〃 2号井	(17.6)	7.8	7.9	1.74	0.5	108	6.6	tr
66	十條製紙 K. K. 十條工場荒川原水	9.4	6.4	7.0	4.06	7.1	50	26.9	0.02
	〃 1号井		8.2	8.2	0.50	0.0	86	2.2	0.03
67	日本加工製紙 K. K. 井戸	19.0	8.2	8.2	0.14	0.0	87	3.3	0.10
68	印刷局王子工場3号井	18.2	8.1	8.1	3.36	0.0	90	2.4	0.25
	〃 千川上水	11.0	7.3	7.3	8.00	1.3	50	1.5	0.02
69	日本フエルト K. K. 王子工場2号井	(19.5)	8.3	8.3	0.83	0.0	86	2.1	0.13
	〃 3号井		8.2	8.2	0.25	0.0	84	1.7	0.07
71	日本製紙 K. K. 2号井	16.5	7.6	7.7	3.20	0.5	78	7.2	tr
	〃 1号井	19.0	7.9	7.9	0.73	0.0	84	1.6	0.07
72	日本化薬 K. K. 王子染料工場第一工場（2号井）	16.4	7.6	7.8	0.45	1.3	113	6.6	0.13
	〃 1号井	16.9	7.5	7.8	0.51	1.0	101	6.3	0.18
73	〃 第二工場1号井	16.5	7.6	7.8	0.39	1.7	130	6.1	0.00
74	大日本セルロイド K. K. 東京工場2号井	18.0	7.8	8.0	0.53	0.0	92	3.3	0.02
	〃 3号井	15.2	7.2	7.4	5.52	1.0	60	29.5	0.01
75	志村化工 K. K. 2号井	15.8	7.3	7.5	3.81	1.3	60	17.8	0.01
	〃 4号井	16.2	7.9	7.9	—	0.0	82	4.0	0.00
77	日本特殊鋼管 K. K. 本社工場河水		7.0	7.2	—	1.8	50	15.2	0.29
	〃 1号井	16.0	7.5	7.7	0.82	0.5	99	7.7	0.005
78	凸版印刷 K. K. 板橋工場3号井	17.0	8.0	8.0	3.02	0.0	84	7.2	0.02
	〃 1号井	16.3	7.0	7.6	5.12	2.8	95	39.7	0.00
79	オリエンタル酵母工業 K. K. 東京工場4号井	15.3	7.0	7.5	3.28	2.9	63	40.2	0.24

び都北工場用深井戸の水質

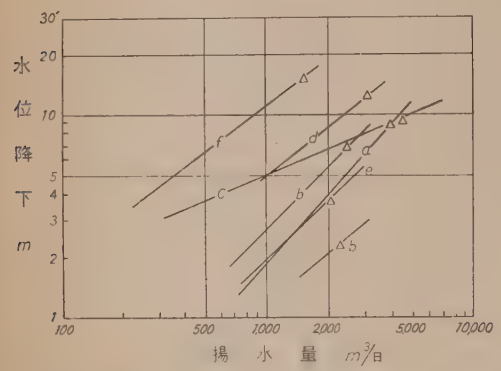
SO_4^{2-} (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Fe^{2+} (mg/l)	Fe^{3+} (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	全硬度 ドイツ	P (mg/l)	$KMnO_4$ cons (mg/l)	Total SiO_2 (mg/l)	ρ (Ω-cm)	備考
3	0.0	0.00	0.02	15.5	2.6	2.62	0.10	5.4	52.0		
117	0.2	tr	0.03	2.4	1.2	0.61	0.20	11.1	45.6		
12	0.3	tr	0.03	21.2	3.5	3.76	0.08	2.5	44.4		
2	0.0	0.00	0.02	16.5	2.9	2.99	0.05	5.1	31.6		
2	0.8	0.01	0.00	13.2	2.2	2.36	0.06	12.0	39.2		
3	0.3	tr	0.05	16.4	1.9	2.72	0.06	2.8	45.6		
15	0.0	0.11	0.05	20.5	3.7	3.71	0.15	2.8	47.6		
3	0.2	tr	0.05	16.7	2.8	2.99	0.06	12.6	30.8	8,400	
8	0.2	0.00	tr	26.0	4.4	4.65	0.08	3.0	25.2		
3	0.1	0.00	tr	16.2	2.1	2.76	0.08	4.1	30.8	8,900	
5	0.5	0.09	0.15	16.4	3.1	3.00	0.08	1.6	60.8	3,800	
68	0.1	0.03	0.13	31.0	15.1	7.85	0.13	7.6	52.8		
8	0.3	0.00	0.05	16.8	2.7	2.98	0.08	8.5	41.6	8,600	水温を( )で示めしたものは9月に測定した値
246	0.3	2.24	0.00	47.0	17.6	9.71	0.03	7.6	42.0	3,200	
1	0.5	0.00	0.01	15.7	2.9	2.87	0.05	3.2	31.6	8,000	比抵抗は全部9月に測定した値
10	0.5	0.05	0.05	23.0	4.3	4.22	0.08	6.6	42.0	6,700	
101	1.0	0.10	0.22	20.4	6.2	4.28	0.25	61.3	24.8		
4	0.3	tr	0.01	15.8	2.9	2.98	0.05	1.6	24.4	9,400	
10	0.2	tr	0.04	20.0	2.9	3.43	0.06	3.8	30.4		
3	0.1	tr	0.01	16.8	2.7	2.97	0.08	4.7	34.4	9,500	
5	0.0	0.00	0.03	13.2	1.7	2.25	0.05	5.4	11.6	12,500	
1	0.2	0.00	tr	16.0	2.8	2.88	0.07	7.6	31.2	9,000	
3	0.0	0.02	0.10	16.4	2.7	2.92	0.06	4.6	30.4		
3	0.1	0.00	0.03	15.2	4.2	3.08	0.06	12.0	23.6		
3	tr	0.00	0.01	17.2	2.0	2.87	0.10	3.5	32.4		
1	0.0	0.08	0.12	18.2	5.8	3.89	0.09	2.5	25.6	8,200	
0	tr	0.02	0.02	16.4	4.3	3.28	0.09	1.9	33.6	6,600	
1	0.2	0.29	0.04	21.6	7.6	4.78	0.09	1.9	39.6		
5	0.0	tr	0.04	20.2	2.8	3.46	0.06	9.2	26.8	5,900	
4	0.0	0.00	0.02	24.6	7.7	5.26	0.06	1.9	42.4	5,400	
3	tr	0.00	0.04	16.5	5.3	3.51	0.05	2.5	36.8	8,300	
2	tr	0.04	0.09	15.4	3.0	2.84	0.08	0.6	26.8		
58	0.9	0.15	0.50	11.1	4.6	2.62	0.03	13.6	29.6		
3	0.0	0.00	0.05	10.0	4.0	2.32	0.15	3.2	24.8	7,600	
3	0.0	0.00	0.03	17.7	2.4	3.01	0.10	5.1	36.0	8,500	
8	0.0	0.00	0.02	35.7	13.4	8.06	0.05	2.2	38.0	4,700	
18	0.0	0.00	0.02	34.2	11.5	7.46	0.06	5.1	36.8	3,900	

(昭和31年12月調査)

さらに荒川放水路左岸にあたる足立区梅田町，興野町一円では 80 m 以浅 16°C，150 m で 17°C 台となり，調査地域中最も低い水温を示している。荒川区南千住附近に至ると，100 m 以浅が 17～18°C となり，鐘ケ淵紡績 K.K. 東京工場の 240 m深度と称せられる深井戸が，この調査結果のなかでは最高水温として 22°C という値を示している。

6. 3 揚水量に対する水位降下の関係

揚水量の数値が比較的正確と推定される約 40 本の深井戸について，深浅各深度にわたる収水層をすべて水理地質的には一連のものとみなし，揚水量に対する水位降下の関係を求めると第 6 図のようにまとめられる。



第6図 江東および都北地区における工場用深井戸の揚水量に対する水位降下の関係
a 板橋地区，b 千住・足立地区，b′ 足立区西新井地区，c 荒川区西部および北区東部地区，d 墨田地区，e 江東東部地区（おもに江戸川区の分），f 江東西部地区（隅田川左岸），
△印はそれぞれの地区の記録のうち揚水量の最大を示す場合

すなわち板橋区一帯では揚水量に対する水位降下の割合は最も小さいが，これから下流に向かい，北区・豊島区・荒川区尾久・南千住・足立区千住町・墨田区北部，さらに江東区西部と順に大きくなつている。第 6 図中では北区東部，荒川区西部（豊島・尾久附近）の揚水量に対する水位降下は多少劣つているようにみられるが，これは旭電化の深井戸群が主になつているうえ，その収水深度による相違が示されていないためであつて，旭電化工業の深井戸群を収水深度別にならべると，100～200m間に収水している井戸の揚水量に対する水位降下の関係は板橋区一帯と著しい相違がなく，200 m 以深に至つてはじめて第 6 図Cのようになつている。また江東区東部地区は一般に板橋区並みであつて，揚水量に対する水位降下が小さいが，これは地下水中への塩水の呼び込みにより帯水層の物理的変化を生じたことに原因しているものと考えられる。

なお深度別区分など細部についての解析はさらに多数の測定資料の蒐集をまつて検討をする予定である。

7. 水質の一般的傾向

7. 1 地下水の水質の地区的特徴

採取試料 85 の分析結果は第 5 表 (a) および (b) に示した通りである。このうち表流水試料 4 を除いた深井戸によつて採取された被圧面地下水試料について，調査地域全体を眺めると，上流側板橋区・北区および荒川区西部地区（これをA地区と仮称する。以下同じ）から荒川区南千住・足立区千住町・同西新井町附近および墨田区北部（B地区），墨田区南部および台東区北部（C地区）を経て，江東区の大部分および江戸川区の西部(D地区)にかけて，4 つの地区別ができる。この 4 つの地区別とそれぞれの地区的特徴は分析値を mg 当量に換算し，これをキーダイアグラムに表示した第 7 図中によく示されている。

すなわち，A地域(板橋区・北区および荒川区の一部)では，被圧面地下水に関するかぎり，第 7 図に示される通り，大部分の測点における陰イオンの 80 % 以上が重炭酸で占められ，陽イオンの 50 % 以上がカルシウムとマグネシウムとで占められている。したがつて溶存全成分中の 50 % 以上がカルシウム・マグネシウムの重炭酸塩となつていることになる。

第7図 東京都江東および都北における陸水の水質を示すキーダイアグラム
ダイアグラムの読み方
たとえばP点は（$HCO_3 + CO_3$）と（$SO_4 + Cl$）との百分率は 80 : 20，また（Ca+Mg）と（Na+K）の百分率は40 : 60であることを示している。

第8図 東京都江東および都北における陸水の水質を示すキーダイアグラム (第7図) の測点分布
A地区○, 主として昭和31年12月採水
B地区●, 昭和31年6月採水, 第5表(a)No.1～10, No.14～27
C地区△, 昭和31年6月採水, 第5表(a) No.11～13, No.29, No.30, No.42～45
D地区×, 昭和31年9月採水, BおよびC地区の測点以外の測点

これに対してB地区ではカルシウム・マグネシウムと置換したかたちで, ソーダ・カリの増加が認められ, 陽イオン中の50～80%がソーダ・カリによつて占められている。なおこのソーダ・カリの増加しているという関係は, B地区の地下水はA地区の地下水に塩化物あるいは硫酸塩が混入して汚染されたというものでなく, 本来の水質を示しているものと考えられる。

C地区にはいると汚染による塩化物, 硫酸塩の増加が認められ, 水質悪化の傾向が示されている。しかしそれら塩化物・硫酸塩の占める割合は50%以下に止まつている。また第7図のキーダイアグラム中, B地区の測点群中にC地区の測点が混在しているのは, C地区中にB地区の水質組成を示す良質の地下水が江東地区の中央に楔形に入り込んで分布しており, その先端が北十間川附近にまで及んでいるためであつて, この関係は第4図に示した水比抵抗等値線にもよく示されている。

D地区にはいると地下水はソーダ・カリの増加に伴ない塩化物・硫酸塩が増加し, 海水の混入による汚染が認められる。特にこの傾向は東京湾臨海部に近ずくに従がい, 明らかに海水の化学的組成に近づいている。

7. 2 地下水中のクロル分布

一般に上流側のA地区では, クロルは 1.3～3 mg/l を示し, きわめて良質の地下水が分布している。しかしクロルは荒川および荒川放水路に沿つて下流に移るに伴ない, 漸増の傾向を示し, かつ深部の地下水より浅部の地下水ほどクロル含有量が大きい。

第6表に地区別・深度別のクロル含有量を示したが, この表によればA地区とB地区とでは著しい相違が認められない。しかしC地区にはいり 106 m以浅の比較的浅い部分にやゝ著しいクロルの増加が認められ, またD地区ではさらに深部にまでその影響が示されている。

第6表 東京都江東および都北の被圧面地下水中における地区別, 深度別 Cl^- 含有量 (数字は平均値, 左肩の数字は平均算出試料数を示す。)

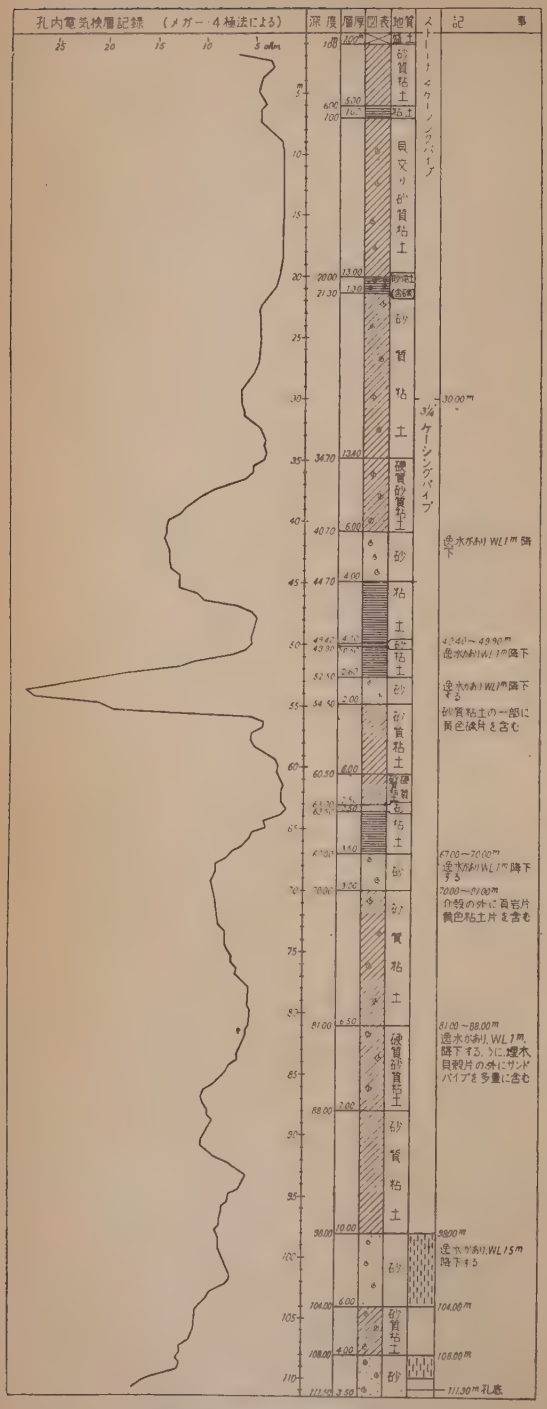
深度＼地区別	A地区 (mg/l)	B地区 (mg/l)	C地区 (mg/l)	D地区 (mg/l)
＞106m (＞350尺)	(9)17.3	(7)20.1	(2)149.8	(9)1155
106～152m (350～500尺)	(4) 9.6	(7)13.0	(3) 8.9	(1)1310
152～182m (500600尺)	(7) 4.4	(2) 2.1	(2) 30.9	—
183m＜ (600尺＜)	(6) 2.1	(3) 7.4	(1) 7.1	—
Mg/Ca	(26) 0.23	(19) 0.33	(8) 0.40	(10) 0.80

Mg/Ca の値は表に示した通り, クロル平均含有量と正相関の関係になる。なお文献7によると, 昭和10年前後の江東地区における 120 m以浅の地下水のクロル含有量は, 1,000 Mg/l以上の部分が江東区門前仲町—平久町—南砂町4丁目を結ぶ線を北限としていたこととなつている。これに比較すると現況は著しくは変わつておらず少なくも地下水中へ塩水の侵入は, 地盤沈下の亢進している割合にはそれほど拡大されていないということができる。

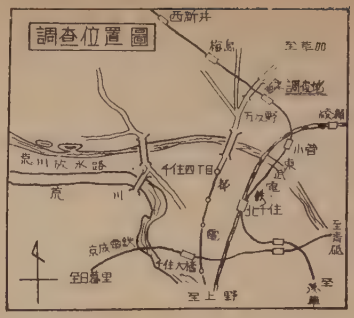
8. 水位観測井の掘鑿

従来江東および都北地区のうち江東地区にあつては, すでに東京都において観測井を設け, 地盤沈下および地下水位の経年観測を行つていたが, 都北地区ではまだ観測井が存在していなかつた。そこで調査の一環として昭和31年11月から12月にかけ, 足立区弥生町, 都立足立高等学校 (敷地 10,000 坪) 校庭東端に, ビーム式鑿井機により 111 mの掘鑿を行い, 地下地質の正確な状況把握に資するとともに, 掘孔内に深度 30 mまで4吋管, 30 m 以深 $3\frac{1}{4}$ 吋管を挿入し, 98 m 以深の帯水層中の地下水の静止水頭の経年変化を測定する観測井としての仕上げを行つた。この掘鑿結果は第9図に示したが, 鑿井終了後の揚水試験時には, 管内水位が地下 13.7 m, その後昭和32年1月には同 15 mとなつている。

この水位観測井はもちろん, 井戸側管の抜け上がりにより地盤沈下量の観測にも供せられうるわけであつて,



第9図 観測井掘鑿記録
掘鑿地点：東京都足立区弥生町都立足立高校校庭東側
作業期間：昭和31年11月12日～12月26日
所要機械：ビーム式鑿井機



現在東京都土木技術研究所の手により自記測定器が設置され，水位および沈下量の観測が行われている。

結　言

以上のように東京都江東および都北地区における地下水は，塩水混入地帯を除けば，水質の面では一般に恵まれているが，揚水量の激増のため，揚水條件は著しく悪化している。特に揚水による水頭の低下が激しく，しかもその傾向は数年前まで自噴井があつた北区北部・板橋区一円に漸次拡大しており，その影響を受けて地盤沈下も上流側に向かつて激化の徴候を示している。水保全の面からもまた，地盤沈下促進防止の面からも即急に対策を樹立しなければならない。

なお地下地質については，さらに背後地一帯の調査の進捗をまつて，地域的な総合解析を行つて報告する予定でいるので，この報告のなかでは充分にはふれていない。

（昭和31年6～12月調査）

文　献

1）北沢　五郎：東京の地盤沈下とその対策，建築学会論文集13号，1939
2）野口喜三雄：東京都江東地区地盤沈下地帯に於ける地下水系の基礎的研究その1，東京都土木技術研究所報告，1953
3）東　京　都：東京都及近郊地質図，1954
4）東　京　都：江東地区恒久高潮対策事業計画，1955
5）東　京　都：昭和29年度総合開発調査，東京湾調査地域地盤沈下対策調査報告書，1955
6）東　京　都：地盤沈下，工業用水使用量などについての調査報告，東京都土木技術研究所報告，1947～1955
7）山本　荘毅：東京市の鑿泉水に含まれる化学成分に就て，陸水学雑誌，Vol. 9, No. 3, 1939

551.761 (522.7)

宮崎県高千穂町に発見された下部三畳系

神戸信和*　齋藤正次*

The Lower Triassic Discovered in the Takachiho District, Miyazaki Prefecture

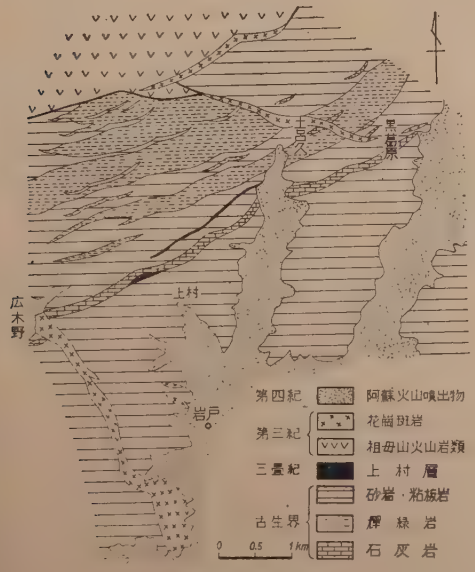
By

Nobukazu Kambe & Masatsugu Saitō

Abstract

This district lies in the Paleozoic terrain traversing the central part of Kyūshū Island. Triassic fossils of pelecypods and an ammonite are newly found from a small outcrop of limestone, which stands close by a large bed of Permian fusulinid-limestone and appears as if a part of the bed. The pelecypods obtained are almost the same in species with those of the fauna which is reported from the Kurotaki limestone in Shikoku Island, and is assigned as Skytic in age. The structural relation between the Triassic outcrop and the nearby Permian rocks is not yet clear.

5万分の1地質図幅「三田井」の調査によつてその地域内に三畳系が存在することがわかつたので，とりあえず報告する。位置は九州中央部の宮崎県西臼杵郡高千穂町（最近の町村合併以前は岩戸村）地内である。



第1図　地質図

三田井図幅は未出版であるが，この地方の地質に関しては筆者らがさきに発表したことがある[5]。本文に関係ある地区の地質図を掲げておく。この地方には外帯の古生界が広く分布し，その北には祖母山を構成するおそらく新第三紀に属する火山岩があり，この境および古生界地帯内には同じく新第三紀と思われる花崗斑岩が岩脈をなしている。またこの地方の谷間は阿蘇火山から噴出した熔結凝灰岩などで満たされている。古生界には石灰岩があり，そのうちにはすでに報告されているように[1)3)5)6)]紡錘虫化石を含むものがある。問題の三畳系は石灰岩からなり，上記の古生界の紡錘虫石灰岩の1つに接してあたかもその一部であるかのようにみえる。

天岩戸神社があることで有名な岩戸部落の北西方の谷間に上村（かむら）部落があり，その谷のさらに上流700mほどの地点の北東側に，石灰岩からなる高さ4～5m，延長未詳の露頭がある。この石灰岩は灰白色を呈し，堅硬・緻密で，方解石脈に富む。露頭面には二枚貝化石が重なり合つている断面が観察される。これから採取した標本から，神戸はさしあたり次のような貝化石5種と菊石1個とを鑑定している。

Eumorphotis cfr. *multiformis* (Bittner) var.

"*Entolium*" cfr. *discites* (v. Schloth)

* 地質部

cfr. *Pleuronectites* sp.

Gervilleia cfr. *exporrecta* (Leps.)

Anodontophora cfr. *canalensis* Cat.

Ammonite gen. et. sp. indet.

これらの化石は，菊石を除けば，四国の高知県黒滝の石灰岩から産する下部三畳系の化石群[4]にほゞ同定され，また *Eumorphotis* cfr. *multiformis* (Bittner) var., *Anodontophora* cfr. *canalensis* Cat. を含むことは関東山地の山中地溝帯の塩沢石灰岩の化石群[2)7)8)]と似ている。この上村の露頭で代表される下部三畳系を上村層と呼ぶことにする。

この露頭の周辺には，露頭の石灰岩とは性質を異にし，暗灰色でやゝ泥質を帯び，かつ概して脆い石灰岩からなる転石が多数散在している。この転石は，紡錘虫化石 *Neoschwagerina* および *Yabeina* を含み，二畳系のものである。この地点附近で谷を横断して東北東から西南西に走り，黒葛原から広木野にわたつて延長約 6 km の間追跡される長大な石灰岩層があり，今回の調査においても，また，かつての報告[1)]によつても，この石灰岩層は紡錘虫化石を含むことが知られている。上述の転石はこの石灰岩層から崩落してきたものである。この二畳系の石灰岩層と上村層の石灰岩露頭との関係はまだよくわかつていない。また上村層についてもこの露頭以外には，たとえば分布，構成岩類，囲りの古生界との関係は明らかでない。

上村層の化石の同定に際しては，東京大学の小林貞一教授の御教示と東京教育大学出身の矢部之男学士の御鑑察とを賜わつている。また二畳系の紡錘虫化石の同定は，地質調査所の礒見博技官にお願いした。以上記して深く御礼申し上げる。（昭和28年調査）

追記：　本文の脱稿後，昭和32年に現地を再踏査する機会があつた。その結果によると，上村の北東に隣接する谷（皿糸と呼ばれる部落のある谷）に沿つて新設された自動車道路の切割りにも，紡錘虫石灰岩層に伴なつて貝化石を含む石灰岩がよく露出していることがわかつた。そして，貝化石石灰岩は紡錘虫石灰岩層の北側，見掛上の直上位を占めていて，この間には不整合も断層も認められない。

なお，本文の挿図で上村層が古生界石灰岩層の南側に位置することになつているのは誤りであり，北側を占めるのが正しい。

文　献

1）飯坂五郎：宮崎県土呂久鉱山附近の石灰岩に就いて，地質学雑誌，Vol. 40, No. 229, 1933

2）Ichikawa. K. & Yabe, Y. : *Eumorphotis multiformis shionosawensis* subsp. nov. from the Shionosawa Limestone at Shionosawa, North of the Sanchu Graben, Kwanto Mountainland, Japan, Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., No. 17, 1955

3）Konishi, K. : Restudy on Some "*Pseudoschwagerina*" in Japan, Jour. Geol. Soc. Japan, Vol. 59, No. 696, 1953

4）松下　進：土佐に於ける下部三畳紀の化石，地球，Vol. 5, No. 5, 1926

5）宮崎県：宮崎県北西部五箇瀬川・耳川上流地方地質図（縮尺10万分の1）および説明書，斎藤正次，神戸信和，井上正昭，木野義人調査，1955

6）宮沢俊弥：宮崎県岩戸鉱山の鉱床及びその附近の地質に就いて，地質学雑誌，Vol. 47, No. 556, 1940

7）鹿間時夫：山中地溝帯の下部三畳紀層，地質学雑誌，Vol. 58, No. 686, 1952

8）Yabe. Y. : Early Triassic Mollusca from Shionosawa in the Sanchu Graben, Kwanto Massif, Japan, Sci., Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sect. C. No. 39, 1956

553.7 : 551.23 : 550.822 : 550.85 (521.12)

岩手県松川温泉地熱調査報告

安藤　武*　渡辺和衛*

On the Matsukawa Geothermal District in Iwate Prefecture

By

Takeshi Andō & Kazue Watanabe

Abstract

In the Matsukawa geothermal district, there had been no outcrops of natural vapours, but the natural vapours of good quality were recently found by the boring tests carried on in the Matsuo Sulphur Mine. This fact is quite similar to the case of Kowakudani geothermal district in Hakone volcano. Three among the five holes drilled near Matsukawa hotsprings made gush outs of natural vapours, which continued for 9 days, 120 days and 360 days, respectively. Various time-length of solfataric activities from drilled holes show the variation of subterranean geological and hydrological conditions. A few amount of chlorine contained in the vapour indicates that the vapour is mainly not of volcanic gas origin, but of superficial water heated in the subterranean vapour zone.

1. 緒　言

松川温泉は岩手山(2,040.5m)の北西直距 7 km の所に位置し，松川の上流にある。松尾村では松尾硫黄鉱業株式会社に依頼し，この地帯で温泉開発を目的として試錐を行つた。従来この地には自然噴気はなかつたが，試錐の結果5本の内3本は天然蒸気が噴出し，その期間の短かいものは9日，長いものは約1カ年間噴気を継続した。筆者らの調査の際は，いずれも坑井の崩壊によつて噴気が停止していたので，測器の挿入降下が不能で資料が得られなかつた。噴気露頭の存在しない所で試錐によつて噴気した例は箱根火山の小涌谷に次ぐもので，地熱の開発，あるいは研究地帯として特に注目される。

調査に際しては松尾鉱山から試錐資料の提供を得，試錐資料と温泉および地質の概査結果を併せて本報告を纒めた。

2. 地質概説

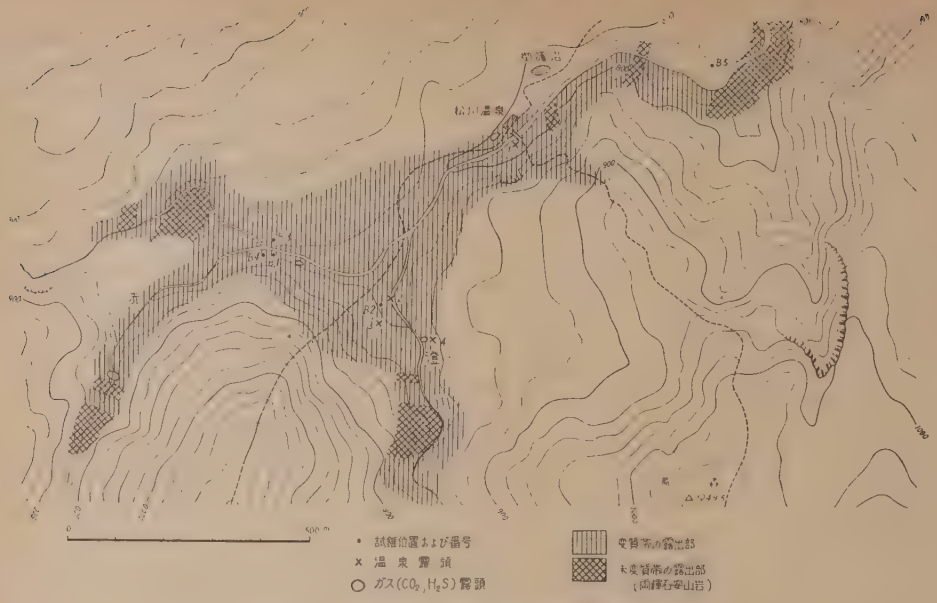
この地域は大きくみれば岩手・秋田の両県境に分布する八幡平・焼山火山から岩手火山さらに乳頭火山群を結ぶ地域の一部である。地質についてはすでに河野義礼・上村不二雄により「八幡平」地質図幅として調査されている。

松川を中心とした地形地質の概要を述べる。

第1図a，bに示されたように松川地熱地帯は東は岩手山，南は黒倉・姥倉・大松倉・三ツ石，西は小畚・大深，北は上ノ倉・中倉・下ノ倉の各火山によつてとりかこまれた凹地であり，特に上ノ倉から下ノ倉まではカルデラ壁と思われる急崖でとりかこまれている。カルデラの中央に中央火口丘と考えられる丸森（1,152 m）がある。松川本流は大深嶽から発し途中で赤川および澄川を合流し，屋敷台近くで左岸から北又川を入れて大更盆地に注ぐ。

松川温泉地内では基盤の第三紀層が露出していないのみならず試錐（1号井，327 m 深度）によつても基盤にあたらない。地表調査では松川沿いに輝石安山岩が分布し変質作用を受けている。丸森熔岩はこれを被つて流出した安山岩であるがやゝ酸性である。これらを取りまく周囲の火山の高所には北部の茶臼山熔岩と同質のほとん

* 地質部



第1図 a　松川地熱地帯の変質帯・試錐位置および温泉分布図

ど変質を受けていない紫蘇輝石複輝石安山岩が分布する。基盤の第三紀層については葛根田川沿いにみられ，この地域の地熱地帯の一つである滝の上噴気地帯は黒色頁岩と砂岩の互層からなる第三紀層（中新統）を母岩としている。

3. 変質帯の分布と性質

変質帯は松川およびその支流の澄川・赤川の川沿いにみられるにすぎず，両側の山地は厚い表土や火山灰に被覆されているので，変質帯の完全な分布状況は調査できなかつた。川沿いに分布する変質帯は第1図に示した。

この噴気変質帯は松川と澄川の合流点附近をほゞ中心として大きく発達したようである。一般の変質帯にみられるような珪酸質白土の層は分布しない。また著しい粘土質の地層も少ない。噴気孔の分布時代に表層で生成されるような変質の地層はほとんど侵蝕されていて，現在露出する変質帯は蒸気帯の内部で生成された様相を呈する。多少の粘土化とともに分結珪化を起こした変質物である。適当な名称がないので珪化変質岩と呼んでおく。なお第1図B1・B2附近の変質物について粘土試験を行つた結果は，ハロイサイトおよびモンモリロナイトを主とするものであつた。

第1表　水　　質

No.	試料採取位置	温度 (°C)	湧出量 (l/min)	pH	固形成分総量 (mg/l)	全酸度 (m·eq/l)	Cl^- (mg/l)
1	松川温泉の源泉	64.0	47	2.7	804	4.20	3.4
2	試錐4号跡の自噴泉	43.8	80	3.3	212	1.25	1.4
3	試錐1号跡の自噴泉	35.5	19	2.8	274	2.15	4.1
4	試錐2号の東側澄川川床温泉露頭	41.8	43	2.5	378	3.90	2.8
5	〃　の南側山裾温泉露頭	29.5	44	3.2	288	1.70	4.1
6	No.4 の約 100m 上流澄川右岸露頭	27.5	5	5.6	86	0.20	1.4
7	岩手山大地獄地熱地帯地獄水	98	—	1.7	2,646	26.80	562.0
8	網張地熱地帯の地獄水	96	—	2.4	1,360	9.50	14.5
9	網張温泉の源泉	68	多量	2.9	554	2.80	4.1
10	滝の上地熱地帯の地獄水	97	—	2.9	1,302	2.30	5.6

H_2S は 0.657 を乗ずると標準状態における cc/l に換算される。

第1図 b　松川温泉と附近噴気地帯との関係

4. 試錐地質

試錐深度およびその地質は第2図に示した。岩石は灰白色ないし青灰色に変質して原岩の判定は困難であるが，ほとんど両輝石安山岩の変質したものである。凝灰岩層を原岩とした部分も僅かにあつたようである。試錐岩芯は多少変質程度を異にするが，大きくみると類似した変質帯が厚く続いていることを示す。また試錐過程における逸水は認められず，良好な試錐地質である。

5. 地熱の地表徴候

松川地熱地帯には自然の噴気孔は存在しない。地熱の徴候としては数箇所の温泉露頭とガス露頭（CO_2 および H_2S）があるにすぎない。温泉水の分析結果は第1表に示した。No. 2（4号井跡），No. 3（1号井跡）は試錐井の内部崩壊後に坑口から温泉を湧出しているものである。2号および3号井は温泉を湧出しない。温泉は遊離硫酸の存在による鉱酸酸性を呈する。この酸性は鉄を中間とした硫化水素の間接酸化に基因する。多量の H_2S を溶存する。特に H_2S の多いものは鉄を内部で固定して温泉成分として溶出しないようである。クロルは著しく僅少である。泉質は酸性硫化水素泉で潜在蒸気帯における性質を表わす。

すなわちその化学性は浸透水が単に潜在蒸気帯によつて加温された傾向を示す。岩手山の大地獄噴気帯の地獄水はクロルが多い。別表の温泉以外に 1,000～3,000 cc/min のガスのみを噴出している地点が4カ所あつた。

6. 地温および試錐による噴気

1号・2号および3号井の試錐過程における坑底温度を地温曲線として図示したものが第3図である。2号および3号井の地温曲線は松川地熱地帯の特徴を表わしている。1号井は湧水のために地温曲線を表わし得なかつたようである。地下30～50m から地温は上昇し，以下きわめて急激な地温上昇を示している。深度 140～170m 附近で 140°C を超え，3号井では最高 190°C の地温まで確認されている。試錐記録によるとほゞ 160m 附近から地下の蒸気帯にはいつていると解される。

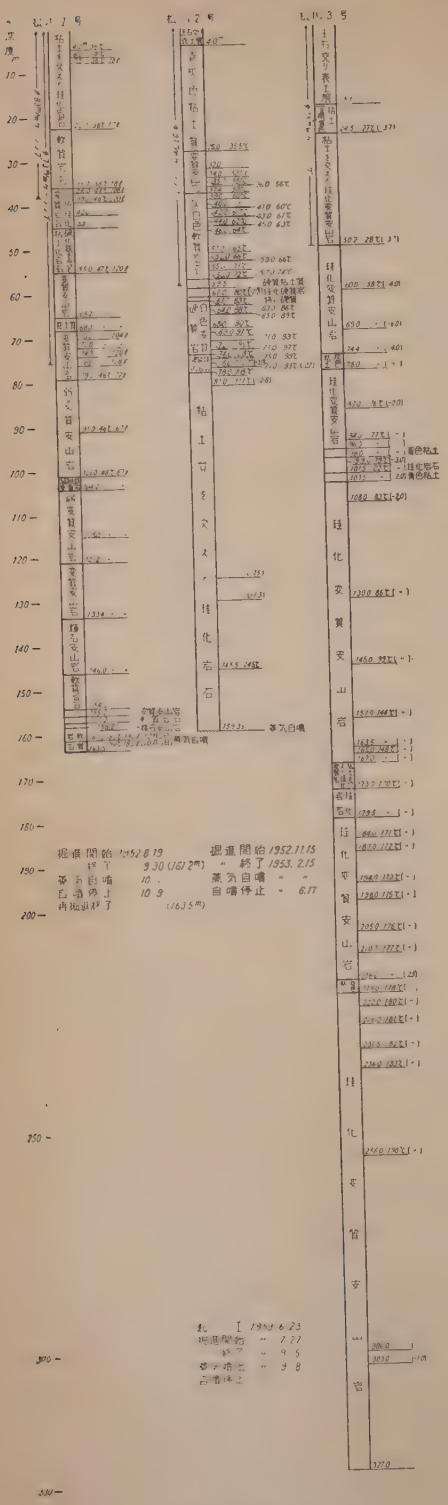
1号井は試錐深度 161m で噴気し，9日目に噴気を停止した。2号井は 160m で噴気し，4カ月間噴気を継続した。3号井は蒸気帯内に深く掘進し深度 327m に達した。

この坑井は約1カ年間近く噴気を継続した。

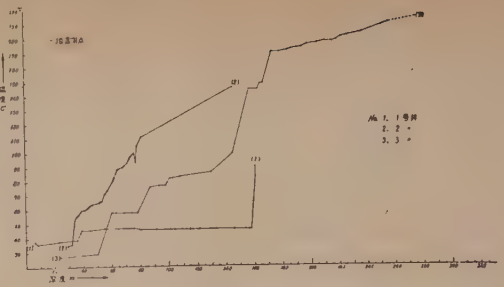
完全な天然蒸気を噴出し，潜在蒸気帯の賦存を確認した。いずれの坑井もその保護が不充分であつたために，

分　析　表

SO^{2-} (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Fe^{2+} (mg/l)	可溶性全 SiO_2 (mg/l)	H_2S (mg/l)	備考
431	2.44	32.4	6.4	5.2	74	20.3	第1図 a 1 地点　試錐 30m
118	1.48	11.0	1.6	tr	38	61.5	〃　B.4 〃　〃 60〃
176	1.94	12.0	2.1	3.1	30	45.4	〃　B.1 〃　〃 161〃 崩壊
319	1.52	16.6	8.6	tr	24	59.5	〃　2 〃
108	2.26	12.0	3.9	〃	18	19.6	〃　3 〃
18	1.80	18.6	1.2	〃	14	1.1	〃　4 〃
1,596	6.72	33.4	46.2	49.0	322	n.d	
872	30.8	19.4	6.4	21.4	120	〃	
314	7.6	35.2	8.2	5.6	82	〃	
796	27.2	120.0	37.8	13.5	214	〃	



第2図 試錐柱状図



第3図 松川地域の地温曲線

内部で崩壊を起こして噴気が停止した。気水界面附近は特に崩れ易いようであるから蒸気帯に達するまでか，あるいは多少蒸気帯の内部までケーシングを挿入することが必要のようである。

調査時にはいずれも内部崩壊によつて噴気が停止していたので，天然蒸気の分析はできなかつた。松尾鉱業の担当者の説明によると水蒸気を主とした良質の蒸気のようである。しかし不凝縮性ガスの割合，性質などについては明らかにされていない。蒸気圧は高かつた模様で3号井の噴気は1寸厚さの松材の蓋を数分で貫通するほどであつたといわれる。

7. 結　言

1) 松川地熱地帯は噴気孔が存在しないにかゝわらず試錐によつて完全な天然蒸気を噴出した。潜在蒸気帯の分布地帯として注目に値する。

2) 蒸気帯の規模は明らかでないが，試錐地点附近では深度160m附近から蒸気帯にはいつた。松川の地表冷水が多量に流れているにかゝわらず地下の地熱が冷却していないことは大きな蒸気帯が賦存するのではないかと考えられ，かつ上部の変質帯が少なからず Cap rock の性質を保有しているようである。

3) 試錐地質の條件は良好である。上部変質帯は侵蝕されて内部変質帯を直接露出している。試錐過程に逸水は起こつていない。

4) この地帯で湧出する温泉は硫化水素が多く酸性硫化水素泉に属する。その化学性は浸透水が潜在蒸気帯によつて加温されたような性質のものでありクロルなどで特徴づけられたいわゆる熱水性の温泉はみられない。

5) この地熱地帯の生成時期は大地獄・綱張地熱地帯などと比較して古い時期に属するようであるが不明な点も多いので松川噴気帯生成の地質学的研究が残された課題である。この地帯の蒸気量の問題，あるいは開発に併なう坑井保存の問題などが検討されなければならない。

（昭和30年6月調査）

531.5 : 53.08

North American 重力計 AGI-157 の感度測定結果報告

松田武雄* 杉山友紀* 須田芳朗*

On the Calibration of the North American Gravimeter AGI-157

By

Takeo Matsuda, Tomonori Sugiyama & Yoshirō Suda

Abstract

To calibrate the North American Gravimeter AGI-157, a series of observation was carried out near Kashiwa-shi, Chiba prefecture.

Comparing with the results obtained by a Geographical Survey Institute pendulum apparatus, the scale value of the gravimeter is 0.1207±0.0001 mgal/scale division.

1. 緒　言

昭和31年1月，本所が North American Geophysical Co. から輸入した VW-2R 型海底重力計 AGI-157 はアメリカからの輸送の途中荒天に遭遇したこと，製作上の誤りがあつたことなどのため，同年夏秋田沖で行つた調査の際には幾多の故障が生じた。その後製作会社の R.C. Sweet 社長外1名の技師が来所し，故障箇所の修理を行つた。このため重力計の常数 (scale value) が変化したので，その測定を昭和32年1月21日～25日の5日間，千葉県柏市附近で行つた。なお器械の輸送は田中信一が担当した。

本測定を実施するのにあたつて，資料の使用を許された建設省地理調査所，種々測定上の便宜を与えられた気象庁研修所の各位に厚く謝意を表する。

2. 測定方法

測点の位置は地理調査所が千葉市および柿岡で重力振子によつて測定し，その間を North American 重力計 AGI-133 によつて測定して，すでに重力値が得られている5点を利用した。

測点の位置は地理調査所の測定によつて得られた重力値から，No. 3 での値を0としたときの各測点での値を第1表に示した。

測定は毎日 No. 3 から始め，1～2往復の測定を行つた。

3. 測定結果

重力潮汐変化による影響 (A. Elkins の方法によつて求め，G=1+h−3/2k の値を 1.20 として計算した)

Table 1. Locations of Stations and Difference of Gravity Value from No. 3 Station.

No.	Location	Difference of Gravity Value from No. 3 Station	Remarks
1	Matsudo-shi	−50.93	B.M. No. 10890
2	Nagareyama, Kashiwa-shi	−19.38	B.M. No. 10894
3	Kashiwa, Kashiwa-shi	0	B.M. No. 10896
4	Abiko-machi	− 4.65	B.M. No. 10897
5	Sōma-machi	+33.80	Sōma-shrine

The gravity value is referred to the results of the observations, carried out by Geographical Survey Institute.

* 物理探査部

Table 2. Results of Observations (The observed value of the 1st observation on every morning at No. 3 station is assumed zero.)

D	O					T	Dr
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
	S. D.[1]	S. D.	S. D.[1]	S. D.	S. D.[1]	m[1]	S. D.
Jan. 21				+38.0			
					+282.7		
		-158.4		+41.7			
	-422.2						
		-158.9	+1.4	+41.1		359	+3.3
					+282.9		
				+40.3			
22				+38.1			
					+281.9		
		-159.2	+2.3	+41.3			
	-420.3						
		-158.1				456	+5.8
			+0.5				
		-158.2					
	-420.4						
		-158.9					
23				+39.7			
					+281.0		
		-160.4	0	+40.1			
	-420.4					412	+5.0
		-156.1	+3.2	+41.3			
					+281.6		
				+40.3			
24				+40.0			
					+282.6		
		-158.2	+1.4	+41.2			
	-420.8					426	+1.6
		-155.5	+1.4	+40.2			
					+282.5		
	-419.7	-154.7					
25				+38.5			
					+280.7		
		-158.4	+0.4	+40.1		241	+3.3
	-420.9						
		-158.1					

D : Date of Observations.
O : Observed Value, in Scale Divisions.
T : Time Required for Observations, in Minutes.
Dr : Drift, in Scale Divisions.

を補正した後 Drift が時間の経過に正比例するものとしてその補正を行い，毎日の最初の No. 3 での測定値を 0 としたときの各測点での測定値，測定に要した時間，Drift などを第 2 表に示した。これらの結果から重力計の常数Kを最少自乗法によつて求めると，K=0.1207±0.0001 mgal/scale division となり，また個々の測定についての公算誤差を求めると第 3 表に示したようになる。

Table 3. Probable Errors in Scale Divisions

No.	Probable Error
1	±0.4
2	±1.1
3	±0.6
4	±0.8
5	±0.6
Mean	±7

4. 測定結果に対する考察

1．地理調査所で行つた重力振子による測定には約 1/200 の誤差があるので最後の桁 (10^{-4} の桁) には多少の誤差があるものと考えなくてはならない。

2．各測点での測定の精度が陸上用の重力計AGI-108の精度[1] に比較して悪かつたことは海底重力計が修理直後で，まだ Spring などが充分おちついていなかつたこと，測定地が比較的交通量の多い道路に沿つていることなどのためと考えられる。

5. 結 論

1）今回の測定の結果，得られた重力計 AGI-157 の常数は 0.1207 mgal/scale Division である。

2）重力計が安定した後さらに常数を測定しなおすことが必要であると考える。 (昭和32年 1 月調査)

文 献

1）松田武雄・須田芳朗 : North American 重力計の精度検定報告，地質調査所月報，Vol. 7, No. 3, 1956

550.85 : 627.8 (622.8)

鹿児島県川内川水系堰堤地点地質調査報告

稲井　信雄*

Geology of the Dam Site on the River Sendai, Kagoshima Prefecture

By

Nobuo Inai

Abstract

The dam site of the river Sendai in Kagoshima prefecture is composed of lava, tuff and Mesozoic sandstone. They may be suitable for a dam construction, but it is desirable to investigate the structure of tuff in detail.

1. 緒　言

包蔵水力調査計画の一環として鹿児島県川内川中流に新川内川，新鶴田発電所計画の第1案と，新鶴田，新湯田発電所計画の第2案があり，これら発電所案に対しおのおの新川内川・新鶴田・新湯田に貯水池堰堤の計画がある。筆者は福岡通商産業局公益事業部の要望によってこれらの堰堤計画案を地質学の立場から検討する目的で昭和31年11月に踏査を行つた。本調査にあたり種々便宜を供与された公益事業部および九州電力土木部の方々に謝意を表する。

2. 地　形

川内川は鹿児島・宮崎両県境に源を発し，栗野・宮之城・川内市を通り，鹿児島県西北海岸に注いでいる県下で最長の河川である。

地形は一般に鶴田村鶴田部落から北では海抜300m前後のやゝ急峻な山地をしているが，鶴田から西南部すなわち川内川下流地区では地形が開け，100m前後の緩い起伏の山岳または段丘地形をなし，特に鶴田湯ノ元附近には広い平坦部がある。この附近の川内川は鶴田から上流においては南北に流れる横谷をなしているが，それより下流においては河幅も開け西南方向に緩傾斜で流れ，かつ緩い蛇行をしている。したがつて川内川本流の下流部に新しく電源開発計画が考えられる地点は口室川内川発電所から湯田附近までである。

3. 位置および交通

案	第1案	第2案	
水系名	川内川	川内川	川内川
河川名	〃	〃	〃
地点名	新川内川	新鶴田	新湯田
ダム位置	薩摩郡鶴田村，鶴田発電所から上流約6km	鶴田発電所から上流約2km	湯田発電所取入口附近
交通	国鉄宮之城線，宮之城の東北川内川に沿つてトラック道路がある。 鶴田発電所までは宮之城から約8kmバスの便がある鶴田発電所は新川内川までから左岸に沿つてトラック道路がある。 山間部であるが特に不便ではない。	鶴田発電所から上流約2km(A案)または3km(B案)左岸に沿つてトラック道路がある。	宮之城，鶴田間の川内川右岸に沿うバス道路に面しており交通は便利である。 湯田，湯の元から徒歩約2km
備考	新川内川に堰堤と発電所を設置する場合は直ちにこの水を新鶴田（現在の神子附近）に導水して発電所を設置する。したがつてダムは1カ所のみ。	新鶴田地点として上流のA案とその下流にB案がある。	

* 福岡駐在員事務所

4. 堰堤計画案

項目＼地点	第1案 新川内川	第1案 新鶴田（第1案）	第2案 新鶴田（第2案）	第2案 新湯田
取水位 (m)	134	56	56	40
放水位 (m)	56	27.9	40	27.9
総落差 (m)	78	28.1	16	12.1
最大使用水量 (m^3/sec)	80	80	80	80
有効落差 (m)	77	22.5	15	10.5
最大出力 (kW)	51,000	15,000	10,000	7,000
設備利用率 (%)	50	50	55	55
年間発生電力量 (M.W.H)	222,000	65,700	48,000	34,000
型式	堰堤式	水路式	堰堤式	堰堤水路式
水路型式	無圧式			圧力式
内径		5.80		m $r=2.90$
亘長		4.000		500
堰堤堤高 (m)	79	新川内川放	20	5
堤体積 (m^3)	300,000	水路に取水口を直結するため	13,000	1,550
堤頂長 (m)	134	堰堤は不要	90	80
kW当り総工事費	102,000	未算出	161,000	157,000
kWh 〃	23,400	〃	33.60	32.40

5. 地質

調査地附近はその基盤岩が時代未詳中生代の砂岩・頁岩で，後期の凝灰岩・熔岩またはシラスがこれらを覆つている。砂岩頁岩またはこれらの互層は主として鶴田発電所から北に広く露われている。頁岩は川内川発電所から上流に幅のやゝ広いものがみられたが，一般に砂岩が多くその質堅く走向 N80°W または N60～70° E で大体北に傾斜している。凝灰岩・熔岩類は新鶴田計画地点から下流地区特に河床や両岸または平坦部を広く覆つている。この凝灰岩または熔岩の関係は湯田堰堤下流において観察することができるように，数回に分かれて累積したものと考えられる（模式柱状図参照）。

断層のおもなものとしては新川内川計画地点から上流約 150～170m 附近を東西に走る顕著な2條がある。この断層についは建設省においても調査しているようである。ほかの地点では凝灰岩または熔岩をかぶつているので，はつきりした断層を確認し得ない。

6. 応用地質

1）第1案　新川内川地点

日窒川内川発電所附近にはおもに時代未詳中生代の砂岩が露出している。この砂岩は硬質で堰堤基盤岩として難点はないが，左岸現発電所鉄管路附近にシラス層があり，さらにその上の水槽附近は脆い砂岩層である。右岸においても下部は堅硬な砂岩であるが，上部には細かい褶曲に富んだ頁岩を交えている。

したがつて計画堰堤の中心線は谷の上部の岩石が多少やわらかいという問題点はあるが，一般に堅く難点はないであろう。しかし湛水面積内に東西に走る断層があり，断層線に沿う附近の岩石はきわめて複雑にもめている。

この断層附近の調査は建設省において試錐，物探，探鉱坑道を開鑿したことがあり，その結果，地質的には弱地点と指摘されている。

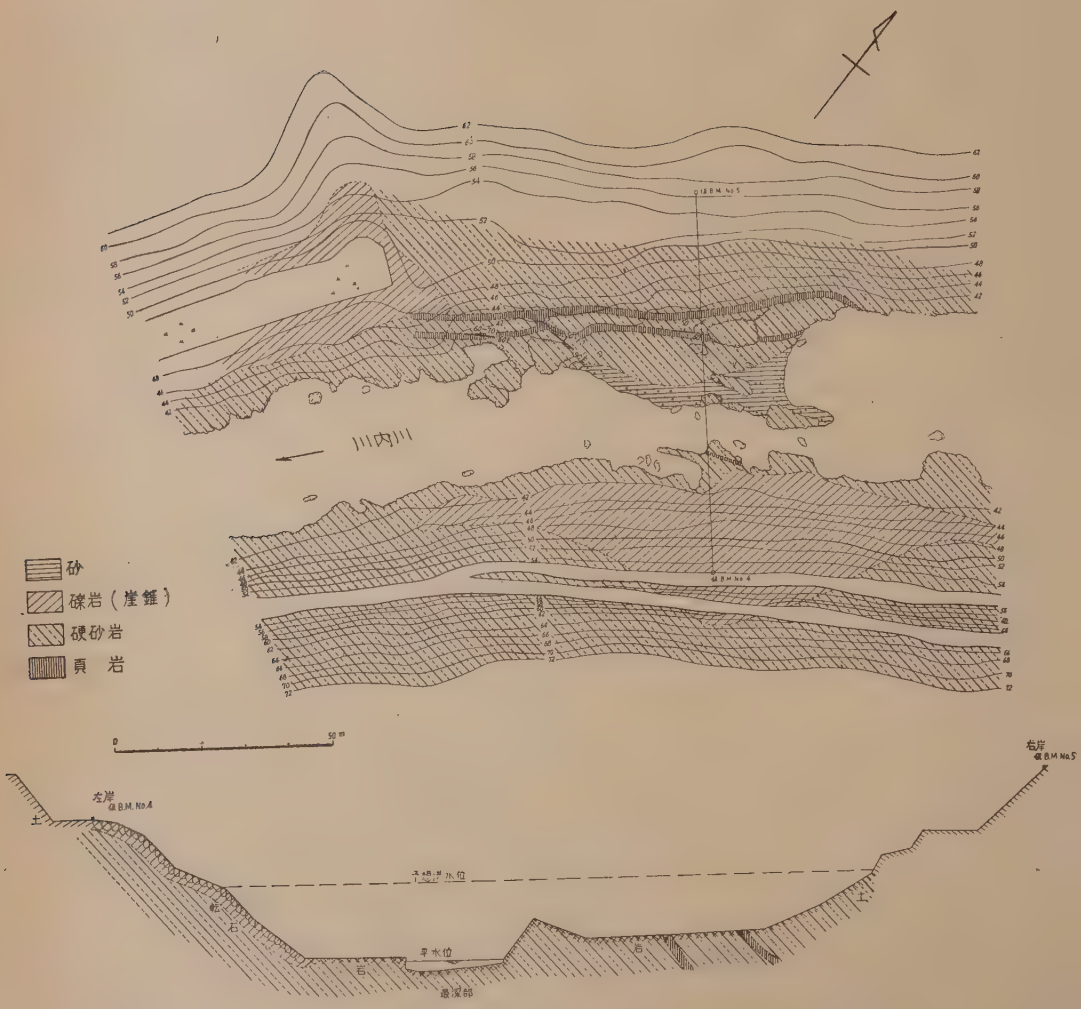
よつて計画された中心線に高い堰堤を構築することはこの弱地点を湛水面積内にだき込むことになるので，最良の計画線とはいえない。もしこの附近に計画を推しすすめる場合は堰堤高が多少低くなるが，この断層をさけて上流に計画すべきであろう。

2）第2案

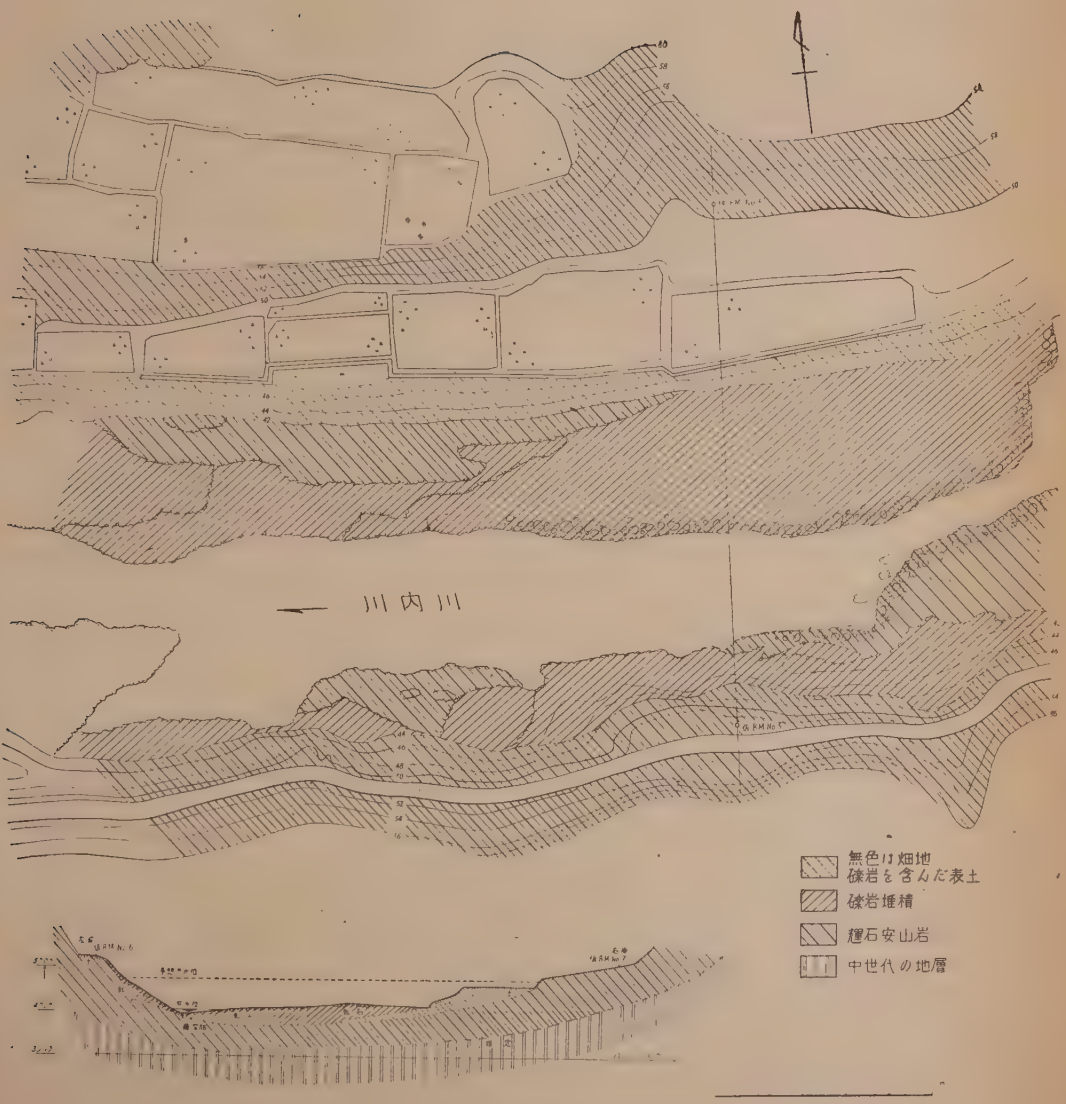
第1案の新川内川発電所案が実現し得ず，現在の発電所をそのまゝにするとすれば第2案の新鶴田ダムが計画される。これには上流案と下流案とがある。両案との距離は約 1,000m 離れているため，湛水量その他発電力の数字に多少の相違を生ずるであろう。

上流案：　上流案の堰堤中心線附近は中生代の砂岩がおもで，頁岩の互層を挟むがその幅は僅か1～2mで岩石は堅硬，かつ走向EWで 50～60°N 傾斜している。左岸は径 0.5～1m 位の主として熔岩類からなる崖錐堆積層であるけれど，これは上部崩壊によるもので基盤岩に

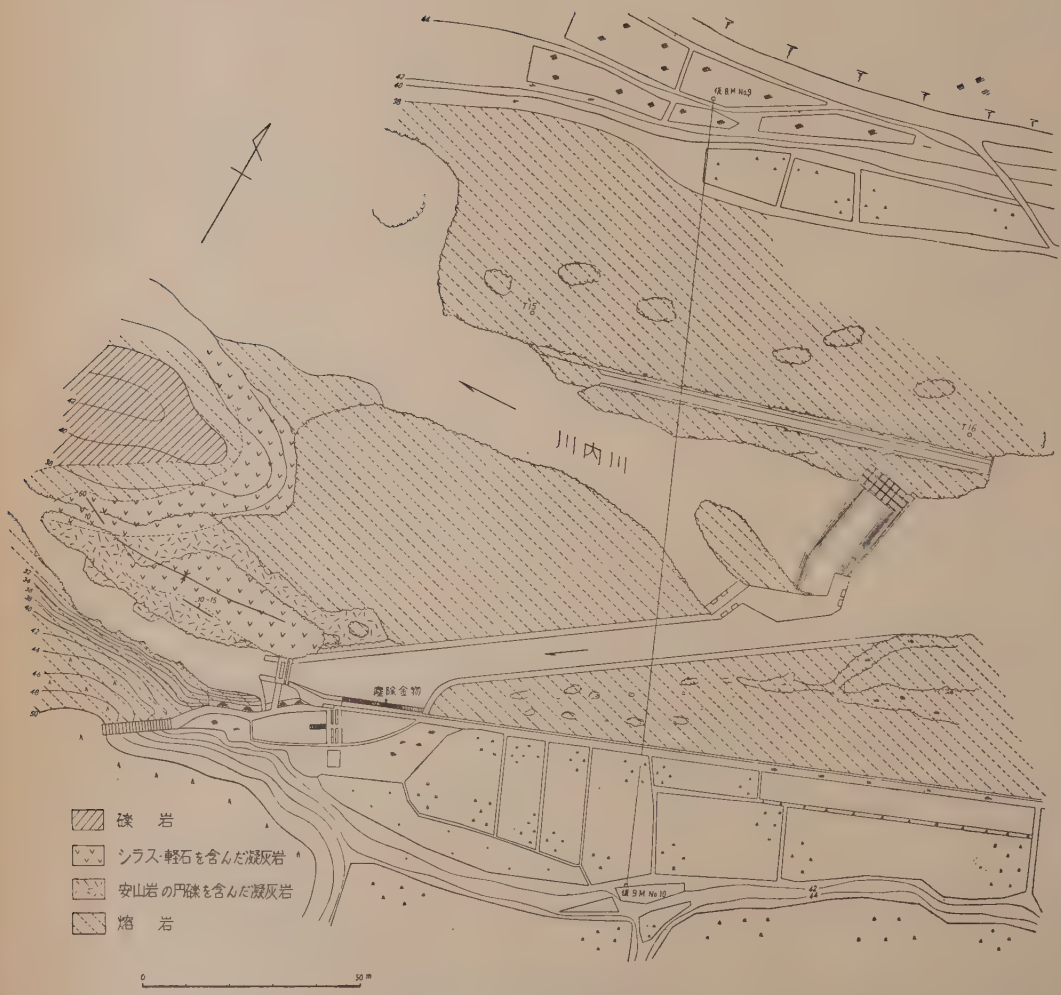
第1図　新川内川堰堤地質図



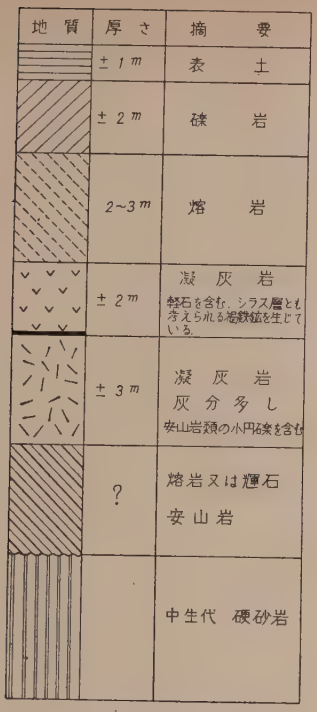
第2図　鶴田堰堤上流案地質図



第3図　鶴田堰堤下流案地質図



第4図 新湯田堰堤地質図



第5図　新湯田堰堤下流の模式柱状図

は変わりない。したがつて堰堤 20m 位のものならば地質的に支障はないと思う。

下流案：　下流案については地質図でも明らかなように河底両岸ともに新期の熔岩類で，特に河底における熔岩の下部には数回の凝灰岩の堆積があつたと考えられる。よつてこの地点に堰堤を構築する場合は現在みえている熔岩の下部の構造を試錐によつて確かめる必要がある。予定地点の下流約 200m には基盤岩である砂岩が露われているので上述の凝灰岩もあまり厚いものではないと考えられる。なおこの凝灰岩は右岸にその一部を露出していて，そのなかに熔岩類または安山岩質の小石大の礫岩をもつている。左岸道路から上部に露われている熔岩は輝石安山岩質のもので，間隙多く，その水に対する浸透度試験をする必要がある。

以上によつて下流案については試錐調査とともに凝灰岩の耐圧試験，熔岩の浸透度試験をなす必要があり，その結果いかんによつては堰堤としては必らずしも適当でなかろうと予想される。

その他：　新鶴田ダムによつて発電した後は現在の湯田発電所取水口附近に低い堰堤を構築してこれを圧力式水路をもつて新湯田に導水し発電しようとする案がある。

湯田発電所取水口附近は地形開け，かつ河底は熔岩台地のように平坦になつているのであまり高い堰堤を作ることは不適当である。表面に露われている地質はすべて輝石安山岩質の熔岩であるが，この下部には少なくとも3回にわたつて堆積したものと観察される凝灰岩層がある。柱状図で示すように，下部は安山岩類の円礫をもつた凝灰岩，その上には軽石をもつた白灰色の凝灰岩，最上部が凝灰岩質の熔岩で，ところによつてはこれに輝石安山岩質のものもある。

したがつて計画中心線附近も熔岩の下部にかゝる凝灰岩層のあることが考えられるので，試錐調査をする必要がある。湯田発電所下の河床には基盤岩の硬砂岩が露われているので，この計画附近も基盤岩はあまり深いものでないことが考えられる。要は数mの堰堤ならば問題はないと思うが，熔岩下部の凝灰岩層については注意が必要である。

7. 結　論

1)　第1案新川内川地点はその湛水面積内にかなり顕著な断層があるので低堰堤なら問題はないが，79mもある高堰堤に対しては不適当と思われる。

2)　第2案の上流案は硬砂岩で，かつその走向は河流の方向にやゝ直角であり，傾斜は上流に向かつているので，地質的に支障はない。

3)　同下流案は，熔岩または凝灰岩であるから，これに対して耐圧試験，浸透度試験の必要があり，かつ試錐によつて基盤の硬砂岩までの深さを調査する必要がある。

4)　新湯田地点はすべて輝石安山岩であるが，その下部に凝灰岩層があるので，あまり強い圧力のかゝる堰堤には適しない。よつて試錐調査をする必要がある。

（昭和 31 年 11 月調査）

雑　報

553.4：550.837/.838（521.12）

岩手県赤金鉱山二枚山区域物理探鉱調査報告

昭和30年7月20日から約22日間にわたり，岩手県江刺郡赤金鉱山二枚山地区において物理探鉱調査を実施した。本調査は昭和30年度未利用鉄資源調査の一環として行つたもので，調査区域は前年度実施した赤金丸森区域の北側約300mの地域にある。

今回実施した二枚山区域に対して，本調査後東北大学南部助教授によつて地質精査が行われている。当区域の地質は主として緑色岩類からなり，一部石灰岩を挟んでいる。区域の北縁には斑糲岩質の迸入岩体が分布しているが，地表における露出悪く，詳細な分布状況は明らかでない。当区域に賦存する鉱床は露出が悪く，地表では東方の一部以外に観察できないが，往時探鉱された旧坑口附近の研によつて判断すると，これらのものは，赤金本体と類似のものであるが，硫砒鉱鉱をやゝ多量に混えているものもある。

今回の物理探鉱調査区域は東西300m，南北約200mにわたる地域で電気探鉱法（自然電位法・比抵抗法）および磁気探鉱法を行つた。

自然電位異常と磁気異常は概して区域の中央に，ほゞ同一地帯に認められ，当地区に，ほゞN30°Wの方向に分布する石英斑岩およびスカルン地帯をN60°Wの方向に連ねたような形状に両異常が現われている。この両異常の現われた地帯は，昔時各所において坑道または露天掘によつて探鉱された形跡が残つており，鉱化作用に関連するものと考えられる。

比抵抗法では各電極間隔における比抵抗分布の状況は概して類似の傾向がうかがえるが，比抵抗値の変化少なく，これより地下構造に対し，充分なる判定を行うことは困難である。

当区域の北方二枚山附近に，割合，広範囲に磁気の正異常が認められるが，岩石分布との関連も考えられるので，今後さらに調査する必要があるように考えられる。

（調査：柴藤喜平）

資　　料

553.22=82=956

交代作用過程の概説*

D. S. Korzhinskii

小西善治訳

緒　　論

"metasomtism" または "metasomatose" という術語は，19世紀のなかばに，仮像鉱物の生成過程に対して提唱された（K. F. Nauman）。その後この術語は，1鉱物が他鉱物で置換されて完成される岩石の転移過程—岩石の全化学的組成の変化を伴なう—を示すために取りあげられた。Goldshmitは，交代鉱物と境間溶液との間に特定の化学的反応が起こつて生じるような置換現象に交代作用を限定し，交代作用と鉱染作用—原岩石の成分を含まない鉱物が岩石に沈澱する。例えば石灰岩の galena による交代—とを対比している。この metasomatose の狭義の definition は Lindgren（1925）が強く反対し，まもなく見捨てられた。現在では，metasomatose は化学的組成の変化を伴なう岩石のあらゆる置換（交代）を意味している。この場合，古い鉱物の溶解と新しい鉱物の沈澱とが同時的に行われ，岩石の交代作用過程が持続する間は岩石の固態状態（solid condition）が維持される。溶融を伴なう過程，すなわち岩石に空隙が形成され，その空隙が充塡（鉱物質物質）されるような過程は，交代作用には入れられない。交代作用 "metasomatose" という術語は，内因的（endogenetic）ならびに外因的（hypergenetic)—地表附近の交代作用を意味する—（交代作用）過程に用いられる。本論文では，内因的交代現象のみをとりあげ，metasomatose は，化学的組成の変化を伴なう交代作用を指すことにする。

交代作用現象は，地殻上で広域にわたつて分布している。各帯において岩石の蒙つている任意交代作用には，岩石の化学的組成の変化—交代作用過程を媒介として—を伴なつている。ここで次のことを附加しておく必要がある。岩石中における水および炭酸の含有量だけが変化する変成過程では，他の術語，"変成作用" と "交代作用" とが同一程度の重要性を帯びてくるから，この種の過程は metasomatose（交代作用）に入れられない。内因的鉱床の大多数は交代作用によつて生成されるか，またはwall rock の特徴的な交代変質を伴なつている。したがつて交代現象の研究を掘下げることがいかに必要であるかは，明白である。鉱床地区における採鉱の成否は，交代現象の研究で明らかにされた indicator を正しく利用することにかゝつている。この種 indicator は採鉱する場合決定的な意味をもつてくる。

交代現象の経験的な地質学的研究では，その現象を理解するまでにはいたらない。地質学的研究と経験的なデータの解析とともに，交代作用の物理，化学的理論を発展させることが必要である。したがつて本論文では，交代現象を概説するに先き立つて，まず交代作用理論の主要な問題と交代作用の研究方法とを簡単に述べよう。

I.　交代作用過程の理論について

1.　熱力学的平衡と相律

交代作用の生成研究では交代作用の下で化学的平衡が重要な役割を指し示すような法則性が明らかにされている。例えば，岩石の組成には，量的に限られた鉱物種が干与している。すなわち，2種，3種の鉱物類，ときには1種類の鉱物類（単鉱物）からだけからなる岩石類がし

* Коржинский, Д.С. : Очерк метасоматических процессов, Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях, p. 335-369, Институт геологических наук, Академии наук СССР, Москва, 1955

ばしば形成されている。交代作用を蒙つた岩石のある種の型は，地球上の種々の地域および種々の地質年代の岩石累系中にきわめて広範囲域に分布している。このことは，熱力学的法則に基づいて交代作用の生成を研究する基盤となる。このような研究の意味は交代岩石の鉱物組成の分析を基礎において，交代作用過程の外的條件およびこの過程の下での化学的成分の挙動に関する結論を導きだすことにある。

熱力学的平衡に対しては次のような誤つた考え方が広く普及している。すなわち熱平衡は，完全に静的状態の下で現われる孤立系で達成される。天然においては孤立系が存在しないから，厳密にいえば，熱平衡は不可能である。しかし実際上では，熱平衡とは，系の熱力学的パラメター間に相互連関性が存在する場合のみを意味する（系のパラメターとはそれによつて物質系の状態が記載できるような数値であつて，例えば温度，容積，圧力などを意味する）。種種の成分からなる物質系にあつては，互に独立のパラメター数は $k+2$ 以下にならない。いま物質系中における全熱力学的パラメターの値が，パラメター中の $k+2$ の値と明らかに従属関係を示し，物質系の形成履歴に左右されないとするならば，独立パラメターの全 $k+2$ が変化過程にあつても，その系は，完全に熱平衡にある。例えば定成分量からなる物質系では，温度と圧力成分とが変わると，各モーメントにおける系の全パラメターは系の温度と圧力とによつて決定されるから，与えられた系の変化過程では，平衡が依然として保たれる。おのおのの地域ごとに，様々な温度，圧力および滞孔溶液の濃度が支配しているから，系は非平衡状態にあるとみなされる。しかしとりあげられた各単元（elementary）地域では，系が平衡状態にあることを除外できない。例えば交代作用が働くと，各地域の滞孔溶液の組成は時間の経過に伴なつて変化する。しかし各単元地域における滞孔溶液の組成変化が岩石組成の対応変化を迅速に誘起するならば，全体的には，もちろん，非平衡・不可逆状態で現われる所与の交代作用過程の下で，“とりあげられた各単元地域”は熱力学的に平衡（モザイック平衡）と呼ぶことができる。

系の状態を特色づけているパラメター中では2種の値が区別できる。物質の一定量と関連性がないパラメターは，強さ（intensity）と呼ばれる。例えば1相中における温度，圧力，濃度の度合にあたる。物質の一定量と関連性をもち，その成分量に正比例的に増大するパラメターは，度と呼ばれる。例えばこの種パラメターには相温度，相容積，熱容量などがあげられる。

Gibbs の有名な相律は，均衡系における相互に独立に変わる強さのパラメターの最小数一自由度数と呼ばれる一で現わされる。

$$h=k+2-\phi$$

k：成分数。化学元素の最小数または群，組合せは平衡が成り立つ各相の構成から求められる。

ϕ：相の数。このような系の部分は機械的な方法で互いに区別することができる。例えば岩石系の各鉱物はそれ自体相である。

相律は次のことを示している。物質系の相数が多くなり，強さのパラメター（独立変数）の数が少なくなると，物質系は独立に変わる。成分数（$\phi=k$）に等しい相数の物質系では，2つの強さパラメター，例えば温度と圧力のみは，残余のすべての強さのパラメターがこの2つの選択パラメターに依存して変わるから，独立に変わる。たゞし物質系の相の数は減少しないものとする。相の数は，2成分数を超える場合には，強さのパラメター（独立変数）はそれぞれ一定の値をもつているはずであるから，相の数が減少しない間は変わり得られない。

2. 完全移動性成分をもつ物質系

天然の物質系を研究する場合には，どのようなパラメターが物質系の外的條件および端初状態で決定されるかを確かめることがきわめて重要である（たゞし外的條件と端初状態とは独立変数とみなすべきであるが，後者は前者に従属する）。例えば化学的組成の変化を伴なわない交代作用を考えるならば，原堆積岩の成分量は，終極状態を決定するから独立のパラメターである。すなわち成分量は，交代作用の産物を決定するから，周辺岩石の圧力，温度と同様に岩

石系の“平衡の因数”である．他の残余のパラメター，例えば岩石と造岩鉱物との容積，鉱物組成などは，平衡が達成された場合，上述の平衡因数に完全に左右される。

そのなかの全成分量が不変の物質系は“閉した系”である。しかし“開かれた”平衡系もまた可能である。いま変成作用が行われた場合に，原堆積岩が一定の濃度で多数の成分を含む水溶液で洗われ，その際変成作用を蒙り易い岩石中の若干成分がこの溶液に事実上溶解しないものと想像してみよう。この場合には変成作用の最終産物は，不溶性成分量および作用溶液中の溶性成分の濃度に左右される。さらに最終産物は，独立パラメター $k+2$ からなる外界温度と圧力とによつても異なつてくる。この場合残余のパラメター——このなかには変成岩石の溶性成分の含有量を含む—は上述の平衡因数に依存するが，原岩石の平衡因数には左右されない。

与えられた過程ではその量が平衡因数である諸成分は，非移動（inertic）性と呼ばれるが，残余の成分は，完全移動性と名付けられる。このような定義は次のような問題が残る。すなわちどのような條件で成分の“分化移動”をもつ系が成立するか，換言すれば一成分は非移動挙動を，他成分は完全移動をそれぞれ示す物質系がどのような條件の下で現われるかが問題となる。しかし熱力学的考え方によれば，このような物質系は理論的には可能であるとともに，平衡状態の変わる物質系の各成分が非動性となり，また完全移動を示すことは必然的に起こつてくる。このことは，物質系の平衡因数中の独立パラメターの総数には限界があるので，多数の成分が作用溶液中に同時的に濃縮することが不可能であることを考えれば明らかとなる。交代作用過程の下では多数の成分が完全移動を起こすことは，後述のように1相律によつて行われた鉱物の共生関係の解析で確かめられている。しかし，もちろん，非移動，移動成分をもつ物質系の上述の例は考えられうる最も単純な例である。実際上では，完全移動成分からなる物質系の多くの型が可能である。どのようにして交代作用の下で成分の分化移動（mobilediffrentiation）が行われるかの問題については，交代作用性帯状分布理論を述べる際に検討する。

相律によれば $f=k+2-n$ である。溶液中におけるおのおのの完全移動成分の濃度は，平衡系の成立の外界條件を表わす（独立に変わりうる）強さのパラメター（平衡因数）であるから，おのおのの完全移動成分は，自由度をもつ平衡系を導入し，そのため共存相数が1単位減少する。例えば物質系が k_i 非移動成分からなり，k_p 移動成分が任意の温度，圧力の下で生成されるとするならば，平衡因子数には k_p+2 の強さのパラメターが含まれる。したがつてこのような物質系の任意の平衡状態は $n \geqslant k_p+2$ となる。この場合相律（$f=k_i+k_p+2-n$）は $f \leqslant k_i$ となる。すなわち共存相の極大値は，非移動成分の数に等しく，完全移動成分の数に左右されない。交代岩石にみられる同時生成鉱物中の少数のものは，交代作用過程下の成分列（series）の完全移動性挙動と確かに関連性がある。

岩石および鉱石を相律によつて組織的に研究すると，不活動成分と完全移動成分からなる系の存在條件の下で鉱物形成過程が，行われるのが明らかになる。すなわち鉱物生成過程では，多様な成分組成の変化が様々な型で行われる。特に交代作用過程では，交代作用性帯状分布が出現する。すなわち変成（交代）帯が生成される場合には，変成帯は1つは不活動成分，他は非移動成分からなり，交代現象をbackgroundにして，おのおのの成分は不活動状態から完全移動状態に移行している。このようにして岩石成分の移動性の質的差異は，各成分の置換（交代）で明らかになる。“成分の（差動）移動性の法則”は，この相関性を一般的な型に普遍化したものである。

3.　交代作用および一般的な交代作用が行われた際の溶液の役割について

交代作用過程は，流体状または気体状の溶液が常に干与して行われる。この種溶液は一成分を導入し，他成分を岩石から運び出す。この種溶液は岩石の微細な孔隙を通つて浸入するから，滞孔溶液（pore-solution）と呼ぶことができる。孔隙は主として結晶粒の継目に沿つて配列し，交代性置換は，岩石を構成する結晶粒の継目から普通始まり，徐々に全粒に拡大してゆく。

しかし孔隙は，結晶粒間を貫ぬいているので，交代岩石の結晶粒間に“おり”（mud）がしばしば生じ，微細な液体包有物が多量に生じる。特に汚染状長石は普通液体包有物を多量に伴ない泥土岩化作用（pelitization）と誤つて記載されている。孔隙の大きさは，粒径数ミクロミクロンにまでわたつている

最近花崗岩化作用に関する外国の文献には次のような仮説が普及している。この仮説によれば，高温度下では，交代変成作用は，溶液の干与を伴なわずに，化学元素が固体の岩石中を直接拡散して行われる。この仮説が根拠薄弱なことは，交代作用現象が不均一に分布している点からみて明らかである。さらにこの種の交代作用の発達地域は溶液の浸透に好都合な（構造）弱線地帯に明らかにあたつているから，固体の岩石を通つて拡散するのには，この種地帯に発達する割れ目（裂罅）は障害となるはずである。しかし固体状態の拡散を支持する人々は，造構造帯では構造運動で強さの弱まつた結晶格子を通つて拡散が促進されると主張している。

変成作用下の種々の成分の相対可動性（移動性）に関するデータは，結晶質媒質を通る拡散に相反する事実をあげている。すなわち結晶格子を媒介とする拡散の場合には，極大の移動をなす物質は原子および最小のイオン半径をもつイオンであるはずである。反対に，水溶液中では，極大移動を示す物質—迅速拡散物質—は，最小電荷をもつ最大イオン半径のイオンである。この種イオンは，溶媒の（微細な）イオン膜（ionfilm）に吸着されるので，最低度に水和される。変成作用が働く場合には，水・炭酸・アルカリ金属が極大移動をなす。したがつて結晶格子を媒介とするイオンの拡散説は完全に論駁できる。

液体包有物が交代鉱物中に常に存在することは，溶液が鉱物の形成に干与することを立証するのに役立つ。そのほかに固体の珪酸塩媒質を媒介とするイオンの拡散は，高温度の場合でもきわめて緩除である。Jagtish の計算によれば，実験によつて次のことを示している。700° の温度で焙焼されたメタ高陵土中のトリウムの拡散は，100 万年間に，10 m以下の反応帯を形成するが，温度 500° では 1.8 cm 以下の反応帯を形成する。しかし天然の変成過程はきわめて短期間に行われるが，この場合，特に広域変成作用が行われる場合には物質は，比較にならない大きな距離を移動する。

鉱物中の液状包有物の研究によれば，交代作用で生じる溶液は，水溶性であつて，炭酸およびハロゲン化アルカリ金属を多量に含み，アルカリ土類の硫酸塩およびその他の成分をも伴なう。低温度および高温度では，この種溶液の状態は，たしかに液状であるが，一層高温度下の現象に関しては，地質家の間に見解の差がある。この問題は他の論文でゆずり，こゝでは簡単に述べておこう。高温度溶液は，臨界点以上にあるから，溶融状態となり，凝縮が困難であるので液体に近づく。そのために水和作用に基づく変成作用は，炭酸化作用による反応と反対に深さ（條件）に著しく左右されない（Korzhinskii 1940）。

滞孔溶液は，媒質であつて，この媒質を媒介として交代される岩石の諸成分の移動が行われる。岩石中の成分の移動には，2つの極型が可能である。

1） 諸成分は，非移動性滞孔溶液を通つて，この成分の濃度の低下側へ移動する。濃度勾配—距離に伴なう濃度の変化—は，拡散の必要條件である。

2） 諸成分は，溶液の流れに吸収される。

この極型に対応して，交代作用の2型が区別できる。“拡散”性交代作用がこの場合重要な意味をもつものは，成分の拡散移動である。“浸透” infiltration 交代作用，浸透性交代作用では，諸成分は，主として岩石中を浸透する溶液の流れで移動する。

4. 交代作用下における平衡因子

すでに述べたように滞孔溶液が存在することは，交代作用にとつて必要條件である。滞孔溶液の飽和度が高くなると，それに比例して変成作用の強度も増す。滞孔溶液が孔隙中の一部分を満しているときには，鉱物の一部分のみが同一時間内に完全に交代されるが，他の部分は交代

岩石中に残留型態で残存する。しかし岩石中に新に生成される鉱物の組成は，滞孔溶液の量に左右されない。したがつて滞孔溶液の量は平衡要因とならない。

普通の交代作用の場合には，平衡因子としては次のパラメターが考えられる。温度，滞孔溶液圧（主として深度に左右される），岩石の容積，滞孔溶液中における各不活性成分および易動性成分の（容量）含有量である。蒸気圧および炭酸は溶液の温度と溶圧（深度）の函数であるから，平衡の地質学的独立因子の数のなかに含まれない。

岩石容積の独立性は，変成過程において岩石容積が（原則として）変わらない点から明らかである〔変成作用下における容量（積）不変の法則 Lindgren 1935〕。すなわち容積は変成系の初期状態となる。しかしこの場合交代過程における岩石の圧力は，一定に保たれないで，他のパラメター，特に溶液に存在する完全に易動性の成分の濃度によつて左右される。交代作用が岩石に空罅の形成を伴なわない場合には，造岩鉱物内の圧は一般に，滞孔溶液におけるよりも高くなるはずである。隣接変成帯では，鉱物圧は異なり，ある場合には物質の機械的移動を起こさせる。すなわち圧と平衡を保つ交代岩石の容積変化を招く。このような場合は，現実に起きることがある。例えば“交代作用性収縮”あるいはさらに適切な表現では交代作用性の縮まり（容積の減少）は，白雲岩中に存在するペグマタイトの交代性脱珪酸化作用に伴なう（Korzhinskii 1947）。こゝでは，容積の代わりに，平衡因子として周辺岩石の圧が現われる場合をとりあげよう。岩石圧の変化は，小規模の交代作用にのみ伴なう変成過程に固有なものである。しかし定圧下で強度の交代作用が働く場合はむしろ例外であるが，大多数の強度の交代作用過程は，事実において Lindgren の指摘する容積保存の法則に支配される（法則というよりも，容積保存の合法則性または原則と呼ぶのがよい）。

しかし交代作用過程における岩石容積の独立（自主）性は，必ず容積不変を意味するものではない。交代岩石の容積は造構造過程と関連してそのなかに割れ目および孔隙が現われるので増大する。これはこの種割れ目が滞孔溶液から析出する鉱物で充填されるからである。圧平衡がこのような造構過程で小地域に外部原因として成立しない場合には，岩石の容積変化は，他のパラメターから独立なものとみなすことができるはずである。すなわち容積はこゝでは平衡因子となるであろう。

交代作用下の容積の不変すなわち独立性からは，次の重要な結果がでる。滞孔溶液は，原則として岩石成分で過飽和されるはずである。この種現象は，造岩鉱物圧が滞孔溶液に完全に伝達されないので，滞孔溶液がそれと接触する造岩鉱物よりも低い圧力下にあることと相関関係をもつている（Korzhinskii 1951）。この條件下では滞孔溶液の鉱物の溶解度は上昇するはずである。溶液はこの意味において過飽和となり，空隙に出会うと，滞孔溶液からは過飽和鉱物の晶出・沈澱が起きる。この場合には晶出鉱物は，周辺岩石よりも（空隙を満すまで）高い圧力を受けないので溶圧下で沈澱する。溶解がすゝみ，岩石成分が滞孔溶液で運び出されるに従がつて，過飽和鉱物は沈澱するが，交代岩石の容積は不変で，構造・石理のある種の特性は保持される。岩石の出会する溶液の濃度が一層低い場合には，溶解は沈澱に卓越し，溶液で満された空隙が岩石中に形成される。この場合には，岩石内の圧力は，結局滞孔溶液の圧と等しくなる。

交代作用が働く場合，容積でなく，外圧が平衡因子であるとすると，標準交代作用の下では，同時成の安定鉱物の極大数は，相律によつて不活性成分数に等しいであろう。この種鉱物は，“反応鉱物”類であつて，これらの生成物は，変成（化）岩石の不活性成分と溶液との反応によつて生じるであろう。形成された各鉱物には，原岩の不活性成分類を含んでいる。しかし普通の場合，すなわち平衡因子が岩圧の代りに（岩石）容積である交代作用にあつては，独立強度パラメター数（independent intensive parametor）は1単位に減少するが，単位あたりの外延因子数（extensive factor）は増大する。そのために，単位あたりの同時成安定鉱物数は相律によつて増加し最大となるはずである。したがつて交代作用下では，同時成鉱物数は，普通不活性成分（単位あたりの）数に卓越する。このことはその数が不活性成分数に卓越しない

反応鉱物以外に，岩石中に1 “晶出・沈澱” 鉱物が存在することを示している。さらに溶液からのこの種鉱物の晶出沈澱によって，初成鉱物が反応鉱物で置換される際に生ずる容積の減少が補整される。

5. 滲透性交代作用に基づく交代性帯状分布について

滞孔溶液を媒介とする成分の拡散は，浸入溶液の成分が移動する場合に比較して，緩慢に，一層緩慢に行われる。この現象と関連して，拡散性交代作用は，上昇溶液の浸入によって形成される—浸透性交代作用現象—に比較して従属的に発達を示す。wall rock の変質および2交代作用過程の研究から明らかなように，最深所花崗岩・花崗片麻岩の生成條件の下でも，拡散性交代作用に基づく成分の移動は10m を超えることはない。全岩石層の交代性変質は，岩石中に上昇溶液流が浸透した場合（浸透交代作用過程）にのみ起きる。

浸透交代作用の動力学的面を検討しよう。一定の原組成の上昇溶液が均一な原組成の岩石層中に出現し，岩石の孔隙系を伝わって岩石中に浸透したものとする。いま岩石は，与えられた組成の溶液と非平衡状態にあるならば，岩石の置換（交代）が始まり，交代岩石の組成ばかりでなく，最後には溶液組成が変わるであろう。したがって各与えられた瞬間においては，初期断面〔溶液が（与えられた）岩石に達する箇所の断面〕から種々の距離に達する溶液は種々の組成をもつているであろう。このために “交代作用性帯状分布” が生じ，溶液の浸入方向には，種々の組成の交代作用帯 “柱” が形成される。溶液の流動方向には，溶液の浸入度に応じて交代作用帯が拡大してゆくであろう。その上液の背面帯には進行正面が迫まり，それを交代置換するであろう。

初歩的な考え方によつては，浸透性交代柱の構造特性に関する概念を求めることはできない。この種の現象は錯雑しているから，この種現象の解明には，交代作用の物理，化学的理論を発展させ，問題を数学的に研究することが必要である。理論構造の基盤には，天然の交代現象の研究と最も標式的な特性の抽象化によつて誘導される仮説をもうけることが必要である。もちろん数学的研究にあたつては，交代作用の2次的特性と因子—多くの場合決定的な影響を及ぼさない—とはもちろん無視すべきである。

著者は，次の主要仮説によつて浸透性交代作用に関する微分方程式の主要系を誘導した。

1) 交代作用の定義に基づいて，与えられた各瞬間に滞孔溶液中に存在する成分量 (mass) は，岩石類の量 (mass) に比較して僅少である。

2) 基地域 (elementary area) における岩石とその孔隙を満す滞孔溶液とは，化学的平衡下にある。したがつてその組成の変化は実際上同時的に起きるはずである。

3) 溶液が浸入する孔隙系は，きわめて均一で，かつ微細であるから，岩石の各粒（構成）は浸入溶液で洗蝕される。

4) 岩石類の容積（量）は交代性置換によつて変わらない（交代作用の一般の場合に対応）。

5) 交代柱の延長（長）上の温度および孔隙率は変わらない。

天然の交代作用過程では，この條件は，それぞれの程度に乱される。特に “均一孔隙率” の條件は割れ目が形成されるためにしばしば乱される。しかし上述の條件が成立する限界現象に対して交代作用理論がうち立てられるならば，各條件，特に均一孔隙率の條件の乱れが極大値の場合に起きる理論の偏差の除去は困難でない。

こゝではこの仮説を基にして誘導された方程式は論じないが，この式から導かれる結果のみに限り，本題に興味あるものをあげよう。溶液の浸入にしたがつて，交代帯柱は質的変化を蒙らないが，鉱物組成の変化を伴なわないで，あるいは帯の相対的幅に関して変化が起こらないで，溶液の流動方向に帯の等拡大（比例拡大）のみが生じる。溶液の浸入が等速度で行われるならば，各置換前面（正面）は等速度で移動する。置換（現象）は，質的に異なる鉱物組成からなる帯の接触面にのみ行われるが，鉱物の量的比の1変化では現わされない。このような現象

は，岩石が等孔隙率の場合には，置換が岩石中における置換（交代）鉱物の含有量の逓増と被置換鉱物の含有量の逓減を媒介として起きないことを意味している。すなわちその代りに顕著な置換（交代）前面が形成され，最前端には交代鉱物を欠失し，その背後には被交代鉱物が存在するであろう。例えば石灰岩が珪化作用を蒙るならば，被交代石灰岩と交代（純粋）石英質岩石との間には顕著な接触面が形成されるはずである。このような顕著な置換前面は，交代作用が働く場合には現実に普通にみられる。しかし不等孔隙率とある程度表面エネルギーの影響〔交代鉱物中にみられる置換（交代）前面の周囲には溶解度が低いために被交代鉱物の極大巨結晶がしばしば保存されていることがある（Korzhinskii 1950）〕と関連してこのような合法則性を欠失している場合が認められる。このようにして等孔隙率の場合には顕著な界面をもつ交代帯が生じる。交代帯が定組成の1鉱物から構成されているならば，置換（交代）作用は，帯の内部に及ばないので接触帯にのみ起きるから，各帯の延長上に存在する岩石の鉱物，化学組成は不変である。帯の延長上における組成のある種の変化は，組成が可変性である鉱物から構成されている場合にのみ可能である。しかし理論的研究によれば，浸透性交代作用下では，拡散性交代作用と異なつて交代鉱物の組成の可変性は著しく制約される。したがつて多くの場合拡散性交代作用の條件の下で可変組成をもつ鉱物類は，浸透性交代作用の下では定組成の鉱物として実際上振舞うようである（Korzhinskii 1952）。

前面帯（溶液の流動方向に沿う）自体では，溶液組成は原岩石の組成に対応（その結果先行帯の延長線に反応系列が生じる）しているから，組成（水を除く）の変化を伴なわない交代作用が岩石への溶液の浸透で生じる。生成した岩石の組成は，原岩石組成の全成分（水を除く）の含有量に左右される。したがつてそこでは水を除く全成分は不活性に転移する。反対に，岩石が溶液によつて極大変質を蒙つている不活性帯では岩石の組成は，流動溶液に完全に適応している。すなわちその組成は，溶液の成分濃度に完全に依存し，原岩石の成分含有量に左右されない。このような現象は，この帯の全成分が全移動性挙動を示すことを意味している。各中間（交代）帯では，成分の一部は不活性となり，その含有量は1岩石の原含有量への従属性を保持している（この状態は，不活性成分の含有量が厳密に不変に留まるために必然的に起きるものではない）。しかしその一部は，全移動性（total movability）を示し，その含有量は溶液の濃度に左右される。前面帯から奥部（背後）へ移行するに従がつて全移動成分の数が増加するが，不活性成分数は減少する。各置換前面では，全移動成分の数は1単位以上に増加しない。不活性成分数の減少とともに，帯の同時成鉱物数が減少し，最後に単鉱物からなるその背後帯が形成される。

共通成分をもたない鉱物類からなる交代柱，すなわちその組成に“反応”鉱物類を欠くが，被置換岩石の成分の誘導体を伴なわないで溶液から晶出した“沈澱鉱物類および初成岩石”の残留鉱物類を含む交代柱が形成されると考えられる場合を検討しよう（Korzhinskii 1951）。最も簡単な場合は，2，3の鉱物，例えばA，B，Cの鉱物類からなる岩石が溶解する場合である。この場合には，岩石中を流動する溶液は，全成分で飽和されないであろう。各鉱物類の溶解は示差速度で起きるであろう。そのうえ被溶解鉱物類の存在位置では，溶液で満された孔隙が残るであろう（これを zh で示す）。そのために鉱物類の数の減少と孔隙容積の増大とを伴なう数帯が形成され，最後に岩石の完全溶解が起きる。このような交代柱の構造は次のように示されるであろう。

$$\rightarrow zh \mid zh+A \mid zh+A+B \mid A+B+C \rightarrow$$

（矢印は溶液の浸入方向を示す）

周知のように，溶解空隙はアルプス型鉱脈，結晶の凹所およびある種のペグマタイト等で出会する。空隙壁の構造問題は表面エネルギーの影響に関する章で取り扱う。一般に交代作用に基づく溶解空隙はかなり珍しい。これは主上昇溶液がそれぞれの鉱物類で過飽和されているからである。こゝで一層頻繁に出会する空隙の充塡されている場合を検討しよう。いま数種の鉱

物，例えばF，G，H鉱物類で過飽和されている溶液が“開かれた割れ目”に浸入したとしよう。この場合には，滞孔溶液による過飽和状態が形成されるが，この状態（過飽和）はすでに述べたように，滞孔溶液の圧よりも大きな圧－周辺岩石の及ぼす圧を克服するのには充分でない圧－が発達してこの種溶液から結晶が晶出，沈澱できることを意味する。溶圧自体の下で鉱物類が晶出する孔隙中に浸入する溶液は，そのなかに含まれている全過飽和鉱物を晶出するはずである。したがつてこの圧は，浸入溶液の（接触）干与で成長する鉱物が晶出するので，“結晶作用圧” crystallization pressure と呼ぶのが妥当である。結晶作用圧は，溶液の濃度に左右されるとともに，溶液が任意の組成下では晶出，沈澱する各鉱物に対しても異なるであろう。晶出鉱物の集合体圧が1鉱物の結晶作用圧を超える場合には，この鉱物は溶解を始めるはずであるが，この場所には，一層高い結晶作用圧をもつ鉱物類の晶出，沈澱が続くであろう。圧は増大し最後に極大結晶作用圧をもつ1鉱物を残すのみとなる。そのために“開かれた割れ目”（裂罅）の位置には，次のような浸透“自動交代作用”柱が形成される。

$$\rightarrow F \mid F+G \mid F+G+H \mid zh \rightarrow$$

したがつてこの場合には初期孔隙は数鉱物の集合物で充塡されるが，この集合体は（交代）帯に沿つて鉱物数の逓減を伴なう交代性置換を遂次蒙り，交代帯は，単鉱物岩石に転移する。

次にこの鉱物類（F，G，H）で過飽和されている溶液が他の2，3の鉱物類（A，B，C）からなる岩石に作用する場合の過程を検討しよう。溶液が造岩鉱物で著しく飽和されていない場合は，溶解は溶液から析出する鉱物の晶出速度より迅速に進行する。この際には被溶解岩石と被晶出鉱物との間には流体で塡められていた孔隙が生じる。この場合には，上述の溶解柱と沈澱（晶出）柱との結合が起きるであろう。

$$\rightarrow F \mid F+G \mid F+G+H \mid zh \mid zh+A \mid zh+A+B \mid A+B+C \rightarrow$$

この種過程が起こりうる他の場合をある程度順序だてて，検討するために，原溶液中における被溶解岩石成分の濃度が逓増するものとしよう。この場合には被置換岩石に対する原溶液の飽和度は低くなつてくる。したがつて原岩の溶解は緩除となり，まず第一に一溶液で充塡されて全溶解帯の消失が招来される，それとともに，溶解度の比較的低い造岩鉱物が依然として保持されている帯では，溶液の晶出，沈澱が始まる。例えば

$$\rightarrow F \mid F+G \mid F+G+H \mid F+C+H+A \mid zh+A+B \mid A+B+C \rightarrow$$

岩石の溶解がさらに緩除となると，溶解孔隙は完全に消失する。例えば

$$\rightarrow F \mid F+A \mid F+G+A \mid F+G+A+B \mid F+G+H+A+B \mid A+B+C \rightarrow$$

孔隙の消失とともに，置換帯における圧の上昇が始まり，最後に例えばH鉱物の晶出が促進され，溶液は低度であるが，H鉱物で，過飽和され，一層単純な沈澱（晶出）柱が形成されるにいたる。例えば

$$\rightarrow F \mid F+A \mid F+A+B \mid F+G+A+B \mid A+B+C \rightarrow$$

原溶液中の被置換成分の濃度がさらに上昇する場合，すなわち溶液の溶解が緩除となる場合には，溶解柱の圧上昇はG鉱物の晶出，沈澱を促進し，そのために柱構造はさらに一層単純化される。

$$\rightarrow F \mid F+A \mid F+A+B \mid A+B+C \rightarrow$$

上述の諸現象から次のことが考えられる。2次成分が溶液から沈澱する場合には，孔隙への溶液の浸透條件が好ましい状態にあるか，または溶液が可溶性の岩石に出会する場合である。鉱物の形態で沈澱される溶液の2次成分は，次で溶液中で最も過飽和状態にある鉱物で置換されるはずである。このような鉱物としては，“脈状”鉱物，例えば石英・炭酸塩鉱物類があげられる。この種鉱石は溶液の複雑な2次成分としてしばしば認められる。このような場合，一層可溶性（作用溶液の組成に対して）の岩石からなる置換前面または割れ目の拡大した部分には鉱石の沈澱帯が形成される。この場合，その下部に出現する単鉱物帯は脈状鉱物で置換される。

重要な意味をもつているのは次のような場合である．すなわち，造岩鉱物の溶解によつて溶液の濃度変化が起こり，そのために溶液成分の沈澱が誘起される場合である。この場合には溶液成分の化学的相互作用は初期溶液が不飽和状態にあつた溶液の成分でも沈澱を起こさせることができる。例えば，鉱物Aからなる岩石が溶解するとするならば，溶液中のQ成分の溶解度は低下し，溶解前面にQ鉱物の型態で沈澱する。この場合初期の浸透溶液がこのQ成分に対して不飽和状態にあつたとするならば，Q鉱物の沈澱に引続いて，Q鉱物の溶解が始まる。しかし溶解は，沈澱よりも緩除に進行し，次のような帯が形成される。

$$\rightarrow zh \mid Q \pm zh \mid A \rightarrow$$

この場合には，すでにみた諸現象が多様に組合されている。例えば，A鉱物からなる岩石が溶解する際には，溶液成分の化学的相互作用によつてQ，R鉱石の沈澱が起きる（初期溶液がF脈状鉱物で過飽和されているとする）。この場合には浸透交代柱が形成される。

$$\rightarrow F \mid F+Q \mid Q+R \mid A \rightarrow$$

溶液成分の化学的相互作用は，被置換岩石成分で enrich された帯の形成を誘導する。例えば，A，B鉱物からなる岩石が溶解する場合にB鉱物が一層可溶性であると，A溶解前面の進行は，Bの溶解前面のそれよりも遅れる。この場合溶液中のB成分の濃度が上昇し，Aの溶解度が低下すると，Bの溶解前面には，A鉱物で enrich された帯が形成されるはずである。

$$\rightarrow zh \mid A \mid A+B \rightarrow$$

この時には，B鉱物の溶解でA成分の溶解度の低下が起きるために移動不活性成分Aで富化（enrich）されることを意味している．このような晶出過程図式によれば，被置換岩石の最低移動性成分で enrich されている交代岩石，鉱物が形成される多様な例を解明できる。例えば，迸入岩体がアルカリ化および珪化作用を蒙ると黄鉄鉱の型をとる移動鉄で enrich された帯か，絹雲母・紅柱石の型態をとる移動アルミナで enrich された帯かが生成される。

一成分からなるとはすでに考えられない反応鉱物が，交代柱の組成に含まれる一層複雑な場合が存在する。この場合には，特に可変性組成の鉱物が出現し，成分比はある範囲内で変わつてくる。この種鉱物類は，浸透性交代分布と拡散交代分布とを識別する可能性が（原則的に）与えられるので特に興味がある。すなわち拡散交代柱には，可変性組成の鉱物は完全に出現するが，浸透性交代柱では，可変性組成の鉱物の大部分は定組成鉱物として誘導される〔交代現象の全発達帯の延長線上に定組成が保持される（1952)〕。この差異は，接触部の浸透交代柱では滞孔溶液成分の濃度に leaping 現象が必ず起きるが，拡散交代柱ではこのような現象がみられないことと相関関係がある。しかしこの問題は充分研究されていない。天然の交代柱における組成の可変性に関する報告は現在僅かである。

主特徴として反応鉱物を含有する浸透交代柱の可能な場合の図式は，上述の主要交代図式の複雑な変種である。

変質帯（浸透性ならびに拡散性）間のきわだつた境界面は，岩石の孔隙がきわめて均一で，かつ微細な場合に存在するはずである。このような場合，すなわち限界面に近づくと，交代現象によつて充分認められるようになる。実際上多くの場合交代作用帯のきわだつた境界面が鏡下でみられる。しかし多くの他の場合には，変質帯の境界面は不均一であつて，置換度の劣る鉱物，岩石の残留部分が一層高度に置換されたもののなかに保存され，被置換岩石の割れ目に交代鉱物が脈状をなして填めている。この種の現象は被置換岩石の不均一な孔隙率と割れ目の不規則な発達とによるものである．一層珍しい置換例としては，連続交代前面が形成される場合であつて，置換鉱物粒が分散発達をなし，被置換岩石中に集積する。この場合には，まず第一に被置換鉱物中で最も微細な粒あるいは変形粒が置換されるが，一層粗粒なものあるいは均質な鉱物粒は置換を免れるから，表面エネルギーの作用が問題となる（後章参照）。

溶液の交代作用は，特に裂罅および裂罅帯に沿つて容易に進行する。したがつて単鉱物岩石の形成を伴なう置換の極限階梯は，脈状塊の形態で裂罅に富む地帯に普通認められるが，岩石

塊の連続置換の型で現われることもある。裂罅帯を上昇する溶液は，岩石を交代的に置換するから，交代性鉱脈（metasomatic vein）が形成される。

大きく開かれた割れ目が存在する場合には，割れ目を填められる様式は様々である。上昇溶液からの物質の沈澱は，逐次層（consecutive layer）をなして割れ目壁に起こり，割れ目が填められると溶液は他の通路を伝わつて上昇する。しかし多くの場合，割れ目が填められても割れ目に沿う溶液の浸透が続き，逐次沈澱で生成される脈状物質は，溶液の流動作用下で交代作用を蒙り，脈（鉱）の初成充填が起きる。このような鉱脈は“自動交代鉱脈”（autometasomatic）と呼ぶ。交代鉱脈および自動交代鉱脈では，上述型の浸透交代性累帯（infiltration, metasomatic zoning）が溶液の流動方向に認められるはずである。

熱水鉱脈には，相当の距離にわたつて単鉱物類がしばしば存在している。単鉱物鉱脈は，主として石英脈であつて，ときには炭酸塩鉱脈・重晶石鉱脈・蛍石鉱脈およびその他の鉱脈がみられる。この種鉱脈の生成は，上昇溶液の温度低下によつて，溶液に溶解していた物質が，“鉱物の逐次発生の型で沈澱すると普通説明されている。しかし熱水溶液は複雑な組成をもち，様様な岩石中を上昇する際に，様々な成分で飽和されるはずであるから，沈澱によつて生じる鉱物の結晶作用は，共融性質をもち，数種の鉱物が同時沈澱する。したがつて熱水鉱脈の単鉱物性に関する一般の解釈は不充分である。多くの熱水鉱脈にみられる単鉱物性への傾向は，おそらく自動交代作用過程によるものである。上述のように，作用溶液の任意の成分で生じる交代作用の最終産物は単鉱物岩石であるはずである。単鉱物岩石は，裂罅帯の脈状充填物を形成して上昇溶液の主通路に生じるはずである。

原岩にいたるまで鉱脈の走向に沿つて，比較的小規模の置換帯が存在する。この種置換帯は，組成の本質的な変化を伴なわない変質作用を蒙つている。すでに述べたように，原岩の置換前面には，溶液の2次成分の沈澱にとつて好ましい條件が存在する。このような條件は前面に起きる圧低下か，あるいは溶液の2次成分の溶解度の低下か，いずれかの現象の発生と関係をもつている。このようにして熱水鉱脈の走向に沿つて尖滅する箇所には，鉛石の沈澱帯が生じる。このような鉱化帯の背面には，脈状鉛石の置換が生じるはずである。この種現象は，現実に出会するがその研究は始まつたばかりである。

しかし単純な交代累帯以外に鉱脈中ではもちろん，温度の変化と溶液の組成と関係のあるほかの種類の現象も認められる。特に鉛石の沈澱は，単鉱物帯の脈状鉱物中に割れ目に沿つてしばしば起こり，溶液の温度または組成の変化を明らかに示している。

もちろん，すべての単鉱物鉱脈が自動交代作用で生じるものではない。鉱脈が単鉱物で填められるのは，ある場合（鉱物溶液）膠状溶液からの単純沈澱か，あるいは側壁と溶液との反応かいずれかによつて生じる。この種の鉱脈にはあらゆる場合を通じて方解石脈・霰石脈・石膏脈および風化侵蝕帯（皮殻）にみられる他種鉱脈が属する。

次に溶液の浸入方向に温度および圧が逓減して行われる交代作用をみよう。

初期の溶液柱は岩石と平衡状態にあるとしよう。この場合には，岩石と溶液との間には相互作用が働かない。しかし浸透によつて溶液の冷却と圧低下が進行するに従がつて，1鉱物の溶解度は逓減し，他鉱物の溶解度は逓増する。そのために溶液柱の延長上では，変質岩石中の，鉱物の含有量は他の鉱物の負担で（媒介）逓増する。例えば花崗岩塊の縁端部では，後火山期の自動交代作用によつて石英含有量の逓増―接触部に向かつて増大―が花崗岩の他の鉱物成分の媒介で起きる。

溶液が岩石中に貫入（非平衡状態）するならば，温度勾配が生じるので，2交代作用過程の成立が考えられる。岩石と溶液との反応は，等温性交代（作用）柱（isothermal metasomatic colum）で述べたように，各帯間に sharp な界面をもつ数変成帯の生成を招来する。しかし温度勾配が存在するので，この種の交代変成帯の成長は不均等に行われる。それと同時に各帯の延長上では，温度勾配によつて生じる鉱物の量的比の潜在変化（potential change）が現

われ始める。

“接触浸出”現象の記載中で出会する一層複雑な場合を検討しよう。かりに上昇溶液がA, B鉱物からなる均一な原岩中を浸入したとしよう。たゞし著しい温度勾配條件下で，温度が定常（静止）分布を示すものとする。この場合温度が低下すると次のように溶液の性質が変わるであろう。すなわち溶液が交代作用柱の下半部に浸透するに従がつて，鉱物Bの溶解度は上昇するが，A鉱物は減少する。この場合柱の下半部の延長線上の岩石は，溶液の浸透するに従がつてB鉱物を媒介（溶解）としてA鉱物で緩除に enrich されてゆく。反対に，柱（交代作用）の上半部の延長線上の岩石はA媒介としてBで enrich されるであろう。いま原岩中におけるA，B鉱物の含有量が相当高い場合には，柱の下半部には，溶液の緩浸透によつて1鉱物Aからなる変成帯が生じ，柱の上半部には，1鉱物Bからなる単鉱物岩帯が形成される。このような“交代分化” metasomatic differentiation の特性は，後述のように，高度の接触浸出現象が現われる場合にみられることがある。

6. 沪過効果

貫入岩体の周辺に形成されている鉱体の帯状分布に関する問題と，初成累帯の生成問題とを研究すると次のような考え方に到達する。すなわち異なる物質には異なる移動速度をもつ物質が天水の循環によつて拡散移動—全移動でなく—を起こす。天水の循環は，緊密な割れ目（tightfissure），主として岩石の孔隙を通つて行われるので，溶液の部分運動は連続抑制を受け，停止する。しかしこのような現象は物質によつて異なる型で現われる（Korzhinskii 1942）。

その後 Mackany は，類似の考え方を明瞭な型で発展させた。Mackany は次のように主張している。上昇溶液が低浸透性岩石中を浸透すると，溶液の鉱物成分は抑制され，roof 状低透過岩石下に鉱物の型で沈澱する。Mackany によれば，この種の“亜沪過作用”は鉱石沈澱の唯一の原因である。溶液が上昇の際に，低沪過性岩石層の形態で存在する一層緻密な“障害 dam”を逐次克服してゆくとするならば，下部“dam”には捕捉（Restrain）され易い鉱物（錫・銅）が沈澱するが，上部の一層緻密な dam 状地層には，難捕収性鉱物（鉛・水銀）が沈澱する。Mackanyは，どのような実験データによるかは引用されていないが，鉱石が roof 状低透過性岩石，すなわち頁岩下に沈澱しているきわめて興味ある鉱床例をあげている。

著者は当時（1947年）沪過効果に関する実験データを検討し，このデータに基づいて微分方程式を誘導した。この方程式によれば，地質過程で起きる沪過効果の出現確率を推定できる。

最近までは，沪過効果は，コロイド物質中を浸透する無機溶液の沪過現象について観察されていたにすぎなかつた（有機物フイルター）。逆に有機物質を含む溶液が無機物フイルターで沪過される場合がある。B. Ershler（モスコー）は，実験的に次の事実を確認している。フイルターを流れる溶解物質の素量 m_2 は初期溶液濃度 C_a と浸透溶液の容量 v，浸透効果係数と名付けているある係数との積で表わすことができる。($dm_a=\phi_a \cdot C_a \cdot d_v$，係数$\phi$は，物質—溶液の浸透容積内の初期溶解産物—のどの部分が溶媒とともにフイルター中を流れるかを示している。与えられた成分 a が沪過効果を欠く場合には，係数 $\phi_a=1$ となるが，フイルターが溶液の与えられた成分 a に対して完全に不浸透性である場合には $\phi_a=0$ となる。ϕ_a 係数は，フイルターの種類と密度とに左右される。したがつて係数 ϕ_a は，溶媒の平均部分運動速度に対するフイルター内における与えられた成分の平均部分移動速度の比に等しいといえるであろう。

晶出岩漿から派出する後火山作用期の熱水溶液の流れは，天盤の岩石層または裂罅を伝わつて浸透することが考えられる。浸入によつて溶解される物質は，溶媒よりも緩除に上昇するから，溶液流頭は，難沪過性成分をすべて奪うであろう。溶液の量が制限され，そのうえ，この種の冷却岩漿から派出した溶液の流動がある瞬間停止するならば停止溶液は上昇流の背面に残る。しかしこの種溶液も続いて上昇し，乾涸化岩石が跡に残るであろう。乾涸化岩石の孔隙には，

溶液が溶媒より緩除に浸透するために，溶液成分の一部分が残存しているであろう。この状態は砂州に波痕を残す磯波の運動に似ている。この場合浸透通路の岩石の孔隙率が不変であるとすれば，その背面の流れの濃度も不変であるであろう。したがって難沪過性の溶液成分が，後火山作用期の溶液の源泉となる岩漿溜の周辺に分散抑制性接触変成帯（restrained aureol）を形成することは明らかである。このような溶液の分散抑制運動で生じる接触変成帯の範囲内では，難沪過性成分はことごとく捕捉されるであろう（たゞし溶液が完全に開かれた割れ目を伝わつて上昇しないものとする）。しかし成分が分散接触変質帯の（存在）範囲内に濃縮沈澱するためには，もちろんさらに補足的な原因が必要である。花崗岩の貫入体の周囲に錫・タングステン・リチウム・モリブテンの小規模の分散接触変質帯が常に形成されているのは，たとえ変形された型をとつていても岩石に対するこの種溶存元素と溶液との緩沪過作用で説明できるであろう。

溶液の流れが与えられた岩石累系中を相当期間にわたつて浸透するならば，最後にはすべての溶存成分もまたこの岩石類中を浸透することができるであろう。この流れは“緩流動”流あるいは“定常”流にあたるであろう。緩流動流では，対応の流れ断面の沪過効果係数 ϕ_i と濃度 C_i—i は成分を現わす—との積とは，全流に対して一定となるはずである（$\phi_i \cdot C_i$＝一定，Korzhinskii 1947）。これは，緻密な岩石の滞孔溶液中では，i 成分の ϕ_i かかりに 0.2 まで減少し与えられた成分濃度は，沪過効果（$\phi_i=1$）を与えない粗粒岩石中を流れる溶液の 5 倍以上になるはずである。

溶液はこのような濃度の上昇で過飽和状態となると仮定するならば，鉱物の位置晶出（結晶化）圧（potential crystalization pressure）—i 成分からなる—は，溶圧を超えるであろう。いま成分濃度が著しく高まり，対応鉱物の（保有）位置圧が岩石の位置圧を超えると，1 鉱物が溶液から沈澱を始め，比較的低い晶出圧をもつ鉱物の交代や置換が起きる。鉱物の沈澱は，ϕ_i 係数値の低下域，すなわち孔隙率値が減少を示す地域—一層微細な孔隙をもつ地層へ移動した場合—に生じる。

以上の点からみると，鉱液通路が狭まるか，あるいは溶液が低透過性地層中を浸透することが鉱石の濃縮沈澱を起こす原因となることは明らかである。

地質学における沪過効果の潜在的役割を考えるためには，実溶液が岩石を浸透する場合の沪過係数値を実験的に決定することが必要である。最初のこのような研究は，0.002 mm の粒径をもつ石英砂中を浸透する種々物質の溶液の沪過現象について行われた（I. N. Ovchnnikova, V. G. Maksenkova 1949）。この実験データによれば，銅・鉄・マンガン・コバルト・ニツケルの塩化物および硫酸塩溶液の ϕ 値は，0.4～0.6 の間にあつて，沪過効果はきわめて高いことを示している。

現在，沪過効果が他の鉱石沈澱要因系中でどのような位置を占めているかについては知られていない。このような評価を行うのには，なお特殊の地質学的，研究室的研究が必要である。しかしあらゆる場合を通じて交代作用過程における沪過効果の実際的意味については疑問の余地がない。

7. 浸透交代作用による成分の相対的移動性について

定組成の鉱物からなる浸透交代作用柱にあつては主方程式系は次のようである。

$$\frac{x}{v}=\varphi_a\frac{\Delta C_a}{\Delta_a}=\varphi_b\frac{\Delta C_b}{\Delta_b}=\cdots\cdots\varphi k\frac{\Delta C_k}{\Delta_k}$$

x ：交代柱の発生点から溶液の流れの方向における対象断面の距離を表わす（浸透溶液の容量）

φ_a—φ_k ： 成分 a……k の沪過係数

$\Delta C_a=C_a^{II}-C_a^{I}$ ： 対象断面の両側に隣接する岩石の滞孔溶液中の a 成分の濃度差

ΔC_b……ΔC_k ： b…k 成分の濃度差

（溶媒としての水の $a \cdots k$ 成分数中には含まれない）

$\Delta a \cdots\cdots \Delta^k$ ：対象断面の両側に隣接する岩石の単位容積内の成分含有量の対応差

厳密にいえば，この主方程式系は次のような明白な事実を現わしている。すなわち岩石中の成分含有量が変化すると成分が溶液から沈澱するかあるいは成分が溶液に溶解するからなんらかの置換が起きる場合には，各成分含有量の変化は，溶液濃度の対応変化を伴なうはずである。

成分の移動性に関する考え方を明らかにするために，浸透柱の最も単純な例をみてみよう。いま共通成分をもたない3鉱物A，B，Cからなる岩石に，各3鉱物で飽和されていない溶液—岩石を浸透するものとする—が作用するとするならば，作用の最終産物として岩石の完全溶解が起こり，1溶液で満された帯が形成される（溶液は上述のようにzhで示す）。溶解は，異なる鉱物に対して異なる溶解速度で行われるから，次のような溶解柱型が形成される。

$$\begin{array}{c|c|c|c} \text{Ⅳ} & \text{Ⅲ} & \text{Ⅱ} & \text{Ⅰ} \\ -\text{zh} & \text{zh}+\text{A} & \text{zh}+\text{A}+\text{B} & \text{A}+\text{B}+\text{C}\rightarrow \end{array}$$

1帯では，すべての3成分 a，b，c は，不活性となる。これは，この種の相関関係が岩石の初成成分によるばかりか，滞孔溶液の濃度が飽和水準を持続し，独立に変わらないからである。Ⅱ帯では，鉱物C成分濃度は溶解によつて，与えられた作用溶液に固有な C_{cc} 準位に沈降する。すなわちⅡ帯におけるC成分は，溶液中の濃度が外的條件で決定されるから，完全移動を始める。Ⅲ帯では，b 成分も完全移動を始めるが，Ⅳでは3成分がすべて完全移動を起こす。完全移動状態への移行は同時的に行われないから，成分が完全移動状態への移行が行われる過程に—逐次移動から示唆される—によつて成分の相対的移動性を語ることができる。すなわち溶解柱では，c 成分は b 成分より，b 成分は a 成分より，それぞれ一層移動性であるから，a は最も不活性であるといえよう。

2成分中一層移動性のものは，濃度変化を伴なう反応—この場合には対応鉱物の溶解をさす—で一層迅速に拡散するもの，すなわちの x/v 値の大きなものに該当するであろう。主方程式を誘導すると，この現象が速度で左右されることを示している。すなわちA鉱物の溶解前面では，次のようになる。

$$\left(\frac{x}{v}\right)_A = \varphi_a \frac{C_a^H - C_a^0}{a^1} = \varphi_b \frac{0}{0} = \varphi_c \frac{0}{0}$$

こゝで C_a^H は，A鉱物に対して飽和されている溶液中の a 成分濃度を示す。C_a^0—作用溶液の a 濃度，a_1 は溶解によつて起きる含有量の変化に等しい（原岩の単位容積内の）a 成分含有量，これは a 成分が溶解される場合には a 成分がA鉱物組成にのみはいるからである。A鉱物の溶解前面における他成分の含有量および濃度の変化は零に等しい。これは各鉱物が1成分だけを含むという仮定から必然的に誘導される。B鉱物の溶解前面に対応する方程式は次のようである。

$$\left(\frac{x}{v}\right)_B = \varphi_b \frac{C_b^H - C_b^0}{b_1}$$

この式を比較すると，与えられた溶液中で溶解度が高く，岩石中の含有量が低いが，対応成分の φ 係数が高い鉱物が一層迅速に溶解することを示している。この場合には，迅速に溶解される鉱物を構成する成分が一層移動し易い。

さらに複雑な浸透性交代作用は類推によつて解明できるであろう。滞孔溶液の濃度準位までの作用溶液の濃度変化は，溶液と岩石との反応を媒介として行われる。一層移動度の高い成分とは，原岩の滞孔溶液中の（成分）濃度と作用溶液中の濃度との差異が大きいが，岩石中の含有量の必要変化（濃度変化に対して）が低度の成分である。もちろん，成分の相対的移動度は，成分の河過効果差に左右される。

様々な内因的交代作用現象の研究によると，岩石の原組成は多くの場合，交代作用に基づく成分の移動度の順序に決定的な影響を及ぼし，特に移動度の近接している成分の移動度系列における配列位置を変えることがある。それとともに少なくとも与えられた温度過程または型に

対しては，相対的移動度系列における成分のある種の標式的あるいは規準的な順序(配列)を明らかにすることが可能である。例えばアルカリ金属は，アルミナおよびチタンより常に移動し易い。したがつて固有の反応階梯における移動度は与えられた條件下の成分自体の性質，すなわち天然の溶液における成分の溶解度に左右されることになる。溶解度，すなわち溶液の限界濃度は様々な交代作用過程で起こりうる溶液の濃度差の次数で決定される。溶液に溶存する各種の成分の溶解度は1千倍も異なるが，同一成分に対する岩石の含有量とその浸過効果の値は比較にならないほど狭い範囲で普通変わる。したがつて溶解度が移動度に及ぼす影響は特に顕著であるはずである。溶解度は，溶液の温度，溶圧および酸性度で左右されるから，種々の後火山作用過程階梯における成分の相対的移動度は深度によつて異なつてくるはずである。

単一成分の鉱物からなる岩石の上述の最も単純な溶解例では，一成分の完全移動状態への移行（1鉱物の溶解を媒介とする）は，溶液の濃度変化もまた他成分の（岩石）含有量の変化も伴なわない。しかし鉱物が共通の成分を含んでいる場合には，その1成分が完全移動状態へ移行するとその成分の濃度変化が起きるから，質量作用の法則によつて，溶存する不活性成分の濃度変化が起こり，造岩鉱物の所与の成分と結合するようになる。実際上，質量作用の法則によれば，溶液中の鉱物成分の溶解度積は一定であるはずである。したがつて鉱物中の一成分の濃度変化は他の成分の濃度変化を導く。しかし不活性成分の濃度が2帯の接触部で変化する度ごとに，質量作用の法則によつて，岩石中におけるその成分の含有量も変わつてくる。したがつて不活性成分の濃度変化の他の原因が存在する。上述の単純な岩石溶解例では，全岩石帯の圧は同一で，かつ溶圧に等しかつた。しかし溶蝕空隙を欠く普通の場合には，交代作用柱の様々な帯にかゝる分圧は異なるであろう。したがつて様々な帯における同一鉱物の溶解度も異なるであろう。これから次の現象が考えられる。すなわち溶解かあるいは沈澱を伴なう一成分の全移動状態への移行は，すべての他成分の潜孔溶液の濃度変化を誘導するが，所与の成分との結合は生じない。したがつて個々の置換反応の一般的な場合には，すでに述べたように，成分のみが，全移動状態に移行し，それに伴なつてすべての他成分（そのなかには不活性状態を持続するものを含む）の（岩石）含有量も変化する。

しかしすべての成分の含有量が置換によつて変わるとするならば，当然次の問題が起こつてくる。すなわち不活性成分と全移動性とを区別することがはたして可能であるか，あるいは区別することが必要であるが，たしかに各置換反応では成分の挙動対比が必要である。各置換前面に生じる主“能動”(active) 反応は，一成分濃度の変化反応であつて，この濃度は作用溶液の濃度に近づく。岩石中におけるこの成分の含有量変化は，きわめて大きく，この成分の他成分（他鉱物）による置換によつて造岩鉱物の一つは完全に消失し，一般には岩石の鉱物組成が質的変化が生ずる。成分の含有量および濃度のこの種の“能動的”変化—完全移動状態に転移するために起きる—は，他成分の含有量および濃度の“受動的”変化を伴なう。しかしこゝでは含有量の変化は普通驚くべきほど僅かであつて，岩石類の鉱物組成に質的変化を引き起こすには常に不充分である。例えばカリ濃度の高くない溶液がカリ長石に作用すると，カリ長石は，石英を含む絹雲母で置き換えられ，カリは運び去られる。すなわち潜孔溶液のカリ濃度の低下—カリが岩石から運び去られるために生じる—は，置換の原因となり，カリ長石の完全消失を招来する。珪酸およびアルミナの含有量は同時に変化するが，この変化は，規則通りに，僅かであつて，上述の置換では，なんらかの鉱物も消失するにいたらない（原岩中）。珪酸およびアルミナの初成含有量の局所差は，完全絹雲母化作用帯の岩石に反映されている。このようにして珪酸およびアルミナはこゝでは不活性挙動を保持し，これら成分の溶液濃度および岩石含有量の変化は，受動的に行われ，その変化は，たゞカリが能動的に運び出される結果として出現する。

さらに一般の化学量論式の交代作用性反応の適用問題を検討しよう。文献には，このような式は，容積保存の立場から交代作用反応を正確に現わすことができないとしばしば述べられて

いる。例えば黄銅鉱による黄鉄鉱の置換反応をみると次のようである。

$$FeS_2+(Cu)\ =CuFeS_2$$

黄鉄鉱＋（溶存銅）＝黄銅鉱

この場合鉄は不活性成分であるが，S と Cu は完全移動成分である。いま黄鉄鉱の鉄が岩石中に黄銅鉱の型で完全に残るならば，この式には，異論がないであろう。しかし最初には黄鉄鉱からなつている岩石の容積部分が結果として著しく増大することになる。この置換反応は一層複雑な形態で現わすことができる。

$$FeS_2-mFe-2mS+(1-m)\ Cu=(1-m)\ CuFeS_2$$

係数 m は，置換の際鉱物の容積が変わらないか，あるいは任意の型で変わるために選ぶ。D. P. Grigorev (1948) は，容積保存の場合に対応する係数でこの反応を記載することを提案し，対応係数を次のように計算している ($9FeS_2+5Cu-4Fe-8S=5CuFeS_2$)。しかし問題となる点は，このような記載に必要な係数の正確な数値は虚数(有限数で表わすことができない)であつて，温度，分圧および鉱物の孔隙率とともに変化するから，このような（反応）式は当然近似的である点である。このような(容積)式に対するおもな反対論は，交代作用が行われる場合には，岩石の総容積は一定で変わらないが，個々の鉱物が占める箇所の容積は変わる点である。したがつて黄鉄鉱の容積は，原岩の黄鉄鉱の容積であらかじめ決定できない。しかし黄鉄鉱中の鉄が，被置換岩石中に黄銅鉱の型で残存するときには，ある他の鉱物，例えば石英が同時溶解するので岩石の総容積は一定状態を保つものと考えることができるであろう。もちろんこれ以外に一層複雑な相関関係が存在することがありうる。このようにして Grigorev の提案した係数は，単鉱物質の含黄鉄鉱岩石が置換される場合にだけ近似的にあてはまる。

交代作用反応の化学式を作成するためには，どの成分が不活性に転移するか，またどの成分が移動性に転移するかを明らかにすることが必要である。置換の際には，不活性成分は主として造岩鉱物の組成中に残存する。したがつて反応方程式の両側では，不活性成分は固相のみが式の構成中にはいることになる。すなわち方程式の左側にくる鉱物中の各不活性成分含有量は，式の右側鉱物の成分含有量と等しくなるはずである。このような交代反応の化学式では，この式で与えられる原鉱物と生成鉱物との量的相関関係が正確なものではないが，置換反応の正しい質的，鉱物学的特性が求められる。このような普通化学量論式は不活性成分と完全移動成分との差異を現わすとともに，所与の反応が溶液の濃度にどのように左右されるかを明確に示しているので特に重要である。例えば，質量作用の法則を適用すると，$FeS_2+(Cu)=CuFeS_2$式から，この置換反応の平衡が溶存 Cu の能動度活動度に依存するばかりか，S または Fe の能動度にも左右されることが直ちに理解される。しかし Grigorev の一層複雑な方程式からは，次のような誤まつた結論がでてくる。すなわち黄鉄鉱が存在するので定温度の下では溶液中の ($Fe+S_2$) 原子団が変化できないから，この場合不可能であるような溶存 S と Fe との“能動度”（活動度）の影響が平衡に出現することになる。

成長，拡大帯の生成を伴なう交代累帯では，その帯のある部分の各成分は完全移動を起こすが，残余の成分は不活性を示す。このような累帯現象は浸透性ならびに拡散性の全交代作用過程の特徴的な容相である。この現象は，各交代作用帯では成分の移動度が量的ばかりでなく，質的にも異なり，一成分が不活性挙動の場合に他成分が完全移動性挙動を示す意味において，交代作用下での成分の“差動移動度”を示している（変成，交代作用の下での成分の差動移動法則)。

岩石の所与の置換で起きる交代作用帯の遂次配列性を研究するならば，元素および酸化物は成分が不活性度から移動度へ，極小移動から極大移動へ転移する順序によつて配列することが可能となる。このような順列は，所与の交代作用の下での成分の“相対的移動度の順列”と名づけることができるであろう。

この順列における成分の遂次性は，被置換岩石の組成，作用過程の温度および深度，溶液の

組成でいくらか変わる。しかし少なくとも，移動度にみられるある種の相関関係が，それ自体多様な内因的交代作用過程に標式的なものであることは明らかである。すなわち常に極大移動度を示すものは，水および炭酸であつて，あらゆる交代作用過程を通じて完全移動する。そのうえ水および炭酸の能動（活動）度は，原岩の組成にほとんど左右されないが，温度で決定される。そのほかに炭酸の能動度は，深度が増すと急激に上昇する。

次移動団は，8硫黄，3酸化硫黄，塩素，酸化カリウムとナトリウムである。これらの成分類は，多くの場合交代作用現象の出現下で全移動を起こす。さらに次移動度団は酸素・カルシウム・マグネシウム・鉄・珪素である。これらの成分類は，強度の交代作用過程の下でだけ全移動を起こす。そのうえこの移動度団の相対的移動度は，被置換岩石の温度，賦存深度および組成によつて著しく異なる。例えば，珪素およびカルシウムの移動度は，温度の低下に伴なつて著しく高まる。

深度は，カルシウムの移動度を促進させる。石灰岩がスカルン化作用を蒙ると，マグネシウムはカルシウムより移動し易いが，白雲石および超塩基性岩石がスカルン化されるとマグネシウムはカルシウムより不活性となる（後章参照）。

全交代作用過程を通じて極小移動度を示すものは，燐・アルミニウムおよび特にチタンである。しかし最も強度に交代作用を蒙つている地帯では，例えば岩石が完全珪化作用を蒙つている場合にはこの種成分もまた移動性に転移する。したがつてこの種成分の不活性を述べる際にはこのような現象を除外できない。しかしアルミニウムおよびチタンの移動帯では，規則通りにあらゆる他の成分類も移動性を示している。

極大溶性岩石型が置換される場合に限るならば，交代作用過程の類似型の成分移動度の順列は一層近似している。例えばすべての金雲母質鉱体および原生代の花崗岩・花崗片麻岩地帯の白雲岩の接触部でみられる他の交代作用産物は成分の次のような移動度順列をよく保持している。

$$H_2O,\ CO_2,\ S,\ SO_3,\ Cl,\ K_2O,\ Na_2O,\ F,\ CaO,\ O_2$$
$$Fe,\ P_2O_5,\ BaO,\ MgO,\ SiO_2,\ Al_2O_3,\ TiO_2$$

石灰質スカルン帯および一般に種々の地層が蒙つた高温度性およびいくぶん中温度性の交代作用過程では，普通次のような移動度順列を保持している。この順列は中部ウラルのTurinskii銅鉱山の交代作用産物について確かめられたものである。

$$H_2O,\ CO_2,\ S,\ K_2O,\ Na_2O,\ MgO,\ Fe,\ CaO,\ SiO_2,\ P_2O_5,\ Al_2O_3,\ TiO_3$$

低温性交代作用過程では，相対的移動度順列は，Turi 河の鉱山地帯の低温性交代作用過程で識別された順列と普通類似している。

$$H_2O,\ CO_2,\ S,\ K_2O,\ Na_2O,\ O_2,\ Cu,\ SiO_2,\ CaO,\ MgO,\ Fe,\ P_2O_5,\ Al_2O_3,\ TiO_2$$

拡散交代作用の下での成分の移動度の遂次（配列性）性と浸透交代作用の移動度の遂次性は見掛上では相違していない。

8. 拡散性交代累帯

ある場合には，交代作用による成分の移動は，滞孔溶液による成分の拡散を媒介としておもに行われる。この場合には拡散性交代累帯の発達が起きるが，その（移動）特性の順列に関しては，浸透交代作用と近似している。

拡散交代作用の平衡因子は，温度，岩石の容積，滞孔溶液圧（溶圧），不活性（所与の置換の際に生じる）成分と全移動成分の能動度（活動度）である。浸透交代作用と異なつて，全移動成分は，溶液の実濃度には左右されるが，溶液濃度の能動度，すなわち化学ポテンシャルには無関係である。浸透性交代作用のように，強度の拡散性交代作用の下では，岩石容積は，普通不変であるが，単位あたりの同時生成鉱物数は，不活性成分数を超えている。

Fick の法則によれば，ある断面を横切る拡散通路を利用して浸透する成分量は，移動方向

に起きるこの成分の濃度（一層正確にいえば活動度の勾配）勾配，すなわち単位距離の濃度低下に比例する。滞孔溶液からの物質の沈澱は，濃度勾配の急変化すなわち濃度低下率の減少と関係をもつているから，溶解は，濃度低下率の増大と関係がある，したがつて拡散性交代作用によつて岩石から運び出される成分類は，減少側では滞孔溶液濃度の連続低下を起こすが，被置換岩石側では附加（成分）現象が生じる。

拡散性交代作用性ならびに浸透性交代作用では，明確な境界帯をもつ反応柱が生じ，一層強度の置換帯—作用溶液の任意の組成に対する最終置換産物を現わすにいたるまで単鉱物へ移行する場合には，不活性成分数と同時生成鉱物数との逓減を伴なつている。近接帯は，置換が鉱物の量的比の変化に限られていないから，質的鉱物組成で区別できるはずである。拡散性交代（作用）累帯と浸透性交代累帯との差異は，交代，反応柱に交番（alternating）組成の鉱物が存在しているので明らかである。すなわち拡散性交代作用柱の延長上では，各成分の化学ポテンシャルが連続的に変化するが，各接触帯の浸透置換（交代作用）柱では成分の化学ポテンシャルの"跳躍"すなわち変化の中断が起きることが問題である。したがつて浸透柱では，鉱物組成の交番(可変性)性は著しく限られ，ときに欠く場合があるが，拡散柱では，鉱物組成の可変性は，完全に現われるので，この２型の交代作用柱を識別することが原則的に可能となる。

拡散性交代作用の最も単純な場合は，縁裂罅性交代作用または縁鉱脈性交代作用である。この場合には，一定組成の溶液が裂罅に沿つて上昇して生成されるが，側壁の変化は，溶液—滞孔溶液—および岩石の成分の向拡散（counterdiffusion）流を媒介として行われる。この場合には，裂罅を縁取る顕著な限界交代作用の境界帯が生じ，内帯と外帯との置換が逓増的に現われる。この場合は著者の初期の論文の一つに述べられている。遺憾なことには，この論文では岩石容積でなく，外圧を平衡因子としてあげた。しかしこの種因子と結び付けて，鉱物沈澱形成の可能性を考えなかつた。その後，交代（作用）累帯の拡散方程式を導入した(Korzhinskii 1952)。

火成岩体の接触部には岩石の（縁火成岩的）拡散交代作用の可能性がある。Fersman は岩石および岩漿の成分の向拡散を伴なうこの種の交代作用を重視し，ペグマタイトと関係をもつ Iznmrud 鉱体（円錐状）と他の鉱体の生成をこの現象で解明している。

最後に岩石が接触反応するのに適する拡散相互作用が大きな意義をもつている。しかし一般に交代作用がきわめて強度であつて，結晶片岩および片麻岩の生成を導く深所岩石累系の條件の下でも，岩石の拡散相互作用は，一般に低いが，出現し，その反応帯の幅は数mm程度である。上昇溶液の循環帯では岩石の相互作用は大規模に発達し，反応帯の幅は１mに及ぶことがある。しかしこの種の相互作用には上昇溶液への一層移動し易い成分類が常に干与している。このような置換は，あたかも２重交代作用のように２岩石の共役置換（conjugated substitution）が生じるので，２重交代作用と呼ぶことができるであろう。

与えられた各地域で２重交代作用が生じるときには，上昇溶液で迅速に搬出，搬入される成分類は，全移動を起こす。たゞしこの場合には２相互作用岩石の滞孔溶液中の移動成分の濃度は同一であるとする。２岩石の滞孔溶液の難移動性成分の濃度は異なるはずである。２重交代作用では，２接触岩石の滞孔溶液中の難移動成分の濃度（一層正確にいえば化学ポテンシャルまたは活動度）に拡散補償現象が起こり拡散交代作用帯が発生し，成長するようになる。そのうえ置換反応には溶液の全移動成分が干与する。２重交代作用過程の一層詳しい特性については，共成組成図表を述べるさいに明らかにする。

拡散性ならびに浸透性交代作用過程の特徴的な特性は，多数の交代作用柱が同時的に存在し，その帯は脊面帯が前面（交代作用）帯に近接して成長する点である。したがつて，交代岩石が他の岩石で置き換わることは，２つの時間的には異なる独立の交代作用過程の出現を立証するものと考えられるから，交代作用過程は上述の特性を基にして留意する必要がある。このような現象は，特定の場合にはきわめて明確に現われる。しかし１交代作用過程では，交代累帯の

形成が避け得られないから，反応（交代作用）帯が同時的に存在し，成長して他帯による置換系列帯が形成されるのが交代作用の本来の姿である。

9. 交代作用で生じる表面エネルギーと粒度の影響について

一般に固体のような結晶の表面層または流体の表面は，それ自体運動状態にあつて，大きい運動エネルギーをもつている。したがつて結晶集合体内の結晶粒の表面積が縮少一粒の円球度が増す一すると，エネルギーの一部が放出され，結晶粒は自発的に運動を行う。固体または液体の表面面積ができるだけ小さくなる傾向は“表面張力”の存在で出現する。表面張力が働くと，外圧（物質はその圧の下にある）が高まり，所与の物質成分の化学的ポテンシャルが増大する。表面張力で生じる附加圧は，粒径の減少に伴なつて迅速に上昇する。したがつて細粒物質は同一鉱物集合体における粗粒物質よりも一層大きい外圧の下にある。大きい外圧の影響を蒙つている細粒は，高い溶解度をもつている。したがつて平均値の鉱物粒に関して飽和されている滞孔溶液は，一層細粒の鉱物（成分）粒に対して不飽和状態に，最も粗粒の鉱物粒に関しては過飽和状態になるであろう。このような現象を利用すれば，交代作用によると“捕集性，再結晶作用”(collecting recrystalizin crystallization) 現象が明らかになる。すなわち一層粗粒の鉱物粒は，同一鉱物中の最小粒の同時溶解を媒介として成長し，粒径は一般的に大きくなる。

交代作用を蒙つた岩石の特性は，標準変成作用および火成作用を蒙つたものと較べて，粗粒鉱物が岩石中にしばしば形成され，ときには巨結晶に発達する点である。この現象は次の事実を考えればある程度明らかになる。すなわち交代作用の下では岩石類は“標準”変成作用の場合に較べて滞孔溶液で著しく飽和されているが，後火成活動源の溶液の粘性度は岩漿の粘性度より低く，捕集性再結晶作用に必要な成分の拡散を促進するからである。しかし，この場合には，交代作用に基づく結晶体の成長と再結晶作用とは，滞孔溶液が低濃度の特異な條件の下で行われるから特殊な環境が重要性をもつている。

例えば灰鉄輝石質スカルン帯は，石灰岩に Si と Fe との添加が溶液の緩拡散運動で増加して形成されたものである。この場合には，石灰岩は置換されて，灰鉄輝石の柱面が成長し放射線束状連晶が生成される。すなわち Si と鉄の酸化物は，滞孔溶液によつて，石灰岩の置換前面の連晶体（灰鉄輝石）に向かつて拡散し，そこでは灰鉄輝石の柱面の隣着，成長は成分の極小濃度で起こり，微細結晶体の出現と一定水準での拡散附加の維持が排除される。

しかし特異な巨結晶の成長は対位條件下でしばしば頻繁に行われる。対位條件すなわち溶解と所要鉱物成分の附加との條件下では，浸透交代作用ならびに拡散交代作用が可能である。所与の鉱物細粒は，溶液の鉱物成分濃度の低下に伴なつて溶解を始め，細粒の溶解は，溶液濃度の低下を遅くらす。平均粒径の鉱物成分粒で飽和された溶液は，同時に，巨結晶および最高度に発達した結晶体でさらに過飽和される。しかし所与鉱物の全般減量，すなわち溶液濃度の全般低下が生じるにもかゝわらず，結晶の成長が持続される。

極大巨結晶類は，このようにして所与鉱物の全般溶解條件の下で生成される (Korzhinskii 1950)。

溶解と置換とを蒙る巨鉱物結晶の生成は，この種の作用過程が所与の鉱物の安定温度限界で進行するはとんどあらゆる場合を通じて行われる。したがつて所与の鉱物に関して飽和状態であつても，溶液は，鉱物の再結晶作用を生ずることができないで，鉱物の分解，例えば水和，炭酸化作用を誘起する場合は例外として出現する。この場合を除くと置換は，被置換鉱物粒の巨大化を普通伴なう。例えば石灰岩が移行帯で珪化または鉱化作用を蒙ると特有の方解石巨粒が形成される。鉱床地帯および鉱脈の wall rock には被置換鉱物の特有な巨結晶類が出現している。ペグマタイトおよび高温石英鉱脈の珪化帯の接触部には，長石および白雲母のこのような巨結晶が発達している。交代性高温石英・方解石脈およびスカルンの晶洞はザクロ石の巨結

晶の皮殻で縁取られている。置換前面に働いた巨結晶化作用で生じたこの種皮殻は，きわめてしばしば認められ，交代累帯の出現の一形式となつている。被置換鉱物粒の巨粒化の興味ある例は，ウラルの Bragodat 山産の“球顆状”鉱石である。球顆状鉱石は，閃長斑岩を磁鉄鉱が置換して生成されている。磁鉄鉱質鉱石中にみられる閃長斑岩の残存部分はその内部では中粒質であるが磁鉄鉱と閃長斑岩との接触部にはカリ長石の巨結晶縁で囲繞されている。最も大きな巨結晶は，カリ長石であつて，単結晶を形成して，閃長斑岩を置換した磁鉄鉱の密集体中に散在している。この種巨結晶は一般に自形をなすが，その結晶面には所々に溶蝕現象と磁鉄鉱が置換した跡とが認められる。この種結晶の成長と置換，この種物質の沈澱と溶解とは，長石質物質を磁鉄鉱が盛んに置換した際に同時的に行われたものである。

岩石中にみられる種々の溶解空隙類は，側壁の組成中に含まれていると同一鉱物のみごとな結晶類の晶洞皮膜で縁取られている。この種空隙には，ミアロリイテック空隙，変成岩（結晶片岩）のアルプス型鉱脈，水晶鉱脈および石英脈の凹所などがあげられる。このような箇所では，空隙の形成を伴なう溶解が始まり，次でその空隙壁に晶洞皮膜の結晶の沈澱が起こつたことが考えられる。しかし多くのデータは，側壁の溶解と晶洞結晶の成長との同時性を物語つている。例えば，アルプス型鉱脈と水晶の凹所との記載には，結晶が空隙壁および天井から抜落ち，次で砕屑結晶が落下後成長を持続し，その結果結晶類が全面発達をした例が多数みられる。この種の結晶類の習癖は晶洞皮膜の結晶の成長の下で空隙壁が溶蝕され，そのために造構造運動が干与しないで結晶類が空隙壁からもぎ取られたことで説明するのが妥当であろう。側壁の全般溶解で遊離した緑泥石，絹雲母およびその他の難溶性鉱物の鱗片状結晶が石英の結晶面上に（一定の方向に）散点，配列しているのは，石英結晶の成長が空隙壁の岩石の溶解と同時的に行われたことを物語つている。さらに一定の方向性をもつこの種の散点状結晶は石英結晶内に認められる。若干の晶洞皮膜に二酸化チタン（金紅石・鋭錐石・板チタン石）鉱物が濃集しているのは，この種鉱物類が空隙形成後溶液から沈澱したことで説明することは困難である。すなわち天然の條件の下ではチタンは明らかに天然の溶液中では溶解度が低く著しく移動度の低い元素である。晶洞を側壁の溶解皮膜とみなすならば，最も溶け難い鉱物が晶洞に濃集して再結晶しているのはまつたく自然の法則に適つていることを示している（Korzhinskii 1950）。

このようにして，晶洞皮膜は，溶解空隙の生成で形成される溶解皮膜の形態とみなすことができる。

もちろん，これは，晶洞結晶がまつたく，交代作用に基づいて成長することを意味するものではない。結晶面（頭）は，溶液中で確かに自由に成長するが，結晶の成長は殻を構成する一層微細な結晶類の溶解と同時的に進行する。この問題は，G. G. Lemmleinom の指摘した空隙溶解で起きる注入対流（centered convection）が（成長過程）存在するので複雑となる。すなわち対流が起きるので一区域面では溶解作用，他の区域面では結晶作用が卓越する。

溶解に基づく晶洞皮膜の形成は，他の方法，例えば，ある種鉱脈が完成される場合にみられるように結晶が初期形成の空隙壁面上に成長することも除外できない。したがつて晶洞皮膜を伴なう空隙および鉱脈の種々型の形成方法を確かめるために特殊の研究を行うことが必要である。

交代（作用）累帯の理論を述べた際には，表面エネルギーを無視した。表面エネルギーの影響下では交代作用帯間の接触部は交代鉱物粒間の移行帯に一層粒径の大きい，かつ完全に成長した被置換鉱物の単体粒が保存される可能性があるから，Sharpe な型をとらなくなる。

10.　交代作用の下での化学的組成と鉱物学的組成との相関関係について

すでに述べたように，交代作用性置換柱の各帯では，一成分は不活性挙動を，他成分は全移動挙動を示す。そのうえ同時的に生成される安定鉱物の最大数は，不活性成分数のみに左右される。すなわち標準交代作用過程およびある種の交代作用の場合—平衡因子として温度および岩圧が出現する—には，同時生成鉱物の最大数は不活性成分数に等しい。平衡因子が岩圧でな

く岩石の容積である一般の交代作用にあつては，最大鉱物数は（単位あたり）不活性成分数が卓越している．岩石の鉱物組成は，一方では鉱物中の不活性成分の相関関係により他方では外的条件—平衡のすべての強因子が理解できる—によつて左右される。平衡の強因子としては，温度，静圧，全移動成分の濃度，すなわち化学ポテンシャルの度があげられる。交代岩石中の不活性成分の含有量は原岩中の含有量といくぶん異なつているが，あらゆる場合を通じて，原岩の不活性成分含有量の偏差は，その置換産物に反映している．しかし全移動成分に関してはこのような現象が起こらない。

同一外的条件—特にそれぞれの成分の全移動性挙動による—および同一溶液濃度によつて形成される交代岩石は，1 “交代相”（metasomatic phase）に属している。1交代相の限界領域は，不活性成分の含有量の差だけで形成されるから，岩石の鉱物組成の多様性は，制限され不活性成分数がかりに3の値に等しいものとするならば，岩石中の不活性成分の含有量に対する鉱物組成の依存度は普通の成分三角形図で容易に現わすことができる．後で述べるように，交代作用の生成状態を概観する際には，このような図表に化学的および鉱物学的組成の結付きを投影し，交代作用の生成構造に関する若干の知識を伝えるようにすべきである。

化学的および鉱物学的組成の相関関係を明らかにするために，1交代相の条件で生成した—できるかぎり—多種多様の組成をもつ交代岩石が研究されている。さらにどの成分が全移動性挙動を示すかを明らかにするために不活性成分だけをとりあげる。不活性成分数は非常に多いので，3成分系に簡単化する目的で，不活性成分を形式指標で分類を行うと次のようになる。まず“混合成分”が区分できる。この混合成分は，研究対象の岩石の鉱物中に微量の混合物の形態ばかりで出会し，限界含有量の1鉱物に常に達しないものである，したがつて研究対象の岩石中におけるこの種成分の含有量の偏差は，岩石の鉱物組成の質的変化を起こさない．すなわち1鉱物を他鉱鉱が置換することは起こらない。例えば普通の岩石に含まれているバリウム・ルビニウム・マンガンは，混合成分であるが，その含有量が著しく多くなれば岩石の鉱物組成に影響を及ぼす。共生関係の図表解析によれば，重要でない混合物の含有量は無視できるが，一層重要な類質同像混合物は，置き換えられる成分と結合する．さらに不活性成分は“単成分”に分けられる。この種単成分は，他の不活性成分と結合し化合物を生成しないが，単鉱物の形態（所与の交代相）で晶出し，その組成中には，全移動成分を含んでいる。この種単成分としては，単一鉱物組成に対応する全化学成分群が区別される。例えば単鉱物としては，燐灰石・ジルコニウム（珪素で飽和された岩石），榍石（Ca と Si の含有量が金紅石を榍石に転化するに充分な量の岩石）などの組成に対応する化学組成群があげられる。例えばこの場合には，燐・ジルコニウム・チタニウムの代りに，所与の岩石族中で他鉱物と反応しないような鉱物の化学式に対応して量的に他元素が析出する。

最後に解析図表に記載される不活性成分数を縮少するために，さらに“過剰成分”を條件的に区分する．過剰成分は，全岩石中に単鉱物の型で存在する。例えば含石英岩石に限定して検討すると，シリカが過剰成分として析出する。しかしこの場合求められた鉱物の共生法則は，シリカで飽和されていない岩石に対してはあてはまらない。過剰成分は共生関係をなして単に純粋の形態ばかりでなく全移動成分と化合して存在する。例えば，全移動成分が CO_2 の場合には，含方解石岩石中の過剰成分としては，CaO または $CaCO_3$ であろう。しかし移動度によれば CO_2 とは偏差がみられない。

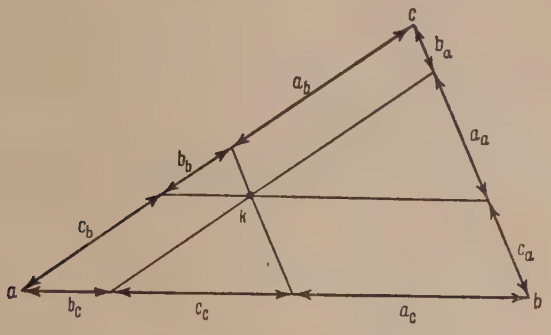
上述のグループにはいらない不活性成分はこれらの成分の比が析出岩石の鉱物組成に質的な影響を及ぼすから，仮想成分（virtual component）と名付けられるであろう。研究対象の岩石を鉱物群，例えば含石英，含方解石に区分すると，仮想不活性成分数を3成分，すなわち平面上でグラフ解析ができうる数に普通減らすことが可能となる

a） 全移動性成分

b)　不活性成分 ｛混合成分／単離成分／過剰成分／仮想成分｝

与えられた交代，変成相に属する岩石系が3仮想成分のみを含むとするならば，一般に用いられている“組成—共生成分”の三角形図で造岩鉱物組成と岩石の仮想成分比との相関関係を現わすことができる。

組成の三角形図に造岩鉱物組成を点示するためには重心座標（baricentra-coordinate）を利用する。例えば a, b, c の任意の形態の三角形図（第1図）では，頂点 a は a, b, c 成分



第1図　k 組成と $a_a : b_a : c_a = a_b : b_b : c_b = a_c : b_c : c_c$ 成分比とを任意の形態の成分三角形図を利用して表わす

中から a のみを含む組成を，頂点 b は b のみで構成される組成を点示する。b を含まないで a と c とからなる組成は，三角形図の ac 辺に点示される。3成分系図の構成は第1図に示されてある。この図では k 点は，$a_k : b_k : c_k$ の比をもつ組成を現わしている。いま k 点を通つて三角形の各辺に平行な3直線を引けば，この直線は三角形の各辺を3の部分に截切し，各線分の長さの比は成分の含有量に比例し，$a_a : b_a : c_a = a_b : b_b : c_b = a_c : b_c : c_c = a_k : b_k : c_k$ を現わす。各截片の配列は第1図によつて明らかである。反対に与えられた組成を投影するのには，まず3截片の1辺を分割し，次で2分割点から三角形図の他の2辺に平行に直線を引けばよい。

60° の角度の割線で3つの部分に分たれているグラフ紙があれば，等辺三角形図として利用するに適している。このようなグラフ紙が利用できない場合には，普通のミリメータグラフ紙によつて，組成の二等辺三角形（直角）図が求めることができる。第2図には，反応成分比，$a_k : b_k : c_k$ をもつ組成を現わす k 点投影図が示されてある。

三角形図に鉱物組成を点示する場合には，3仮想成分相互関係にのみに留意し，全移動成分，混合成分，単離成分，および過剰成分の含有量は考慮に入れない。

組成—共生三角形図の1例として東部シベリヤの金雲母鉱床の岩石で求められた三角形図をみてみよう（1947）。この三角形図は，東部シベリヤに発達する原生代の花崗片麻岩累系（Aldana-Slindyansk）の岩石中に最も広域に分布する“標式”的な交代，変成相に対応し方解石を含むか，あるいは方解石で飽和されている変成岩を代表している。三角形図の横には≪+CaCO_3Ka≫の記号を記入し，方解石の鉱物形態でカルシウム過剰を現わす。すなわち少なくともカルシウムに対してこの地域の全岩石類が飽和されていることを示す。ここでは記号↑↓を使用して，全移動成分を現わし，移動度の逓減順位によつて記入する。この場合には移動度は，H_2O, CO_2, SO_3, K_2O, Na_2O, O_2, Fe の順序となるであろう。さらに特殊の鉱物を構成する単離成分は成分名の前に＋の符号をつけ，この種の鉱物の記号の型で現わす。例えば An は

燐灰石，tsr はジルコンである。第3図の仮想不動成分としては SiO_2，Al_2O_3，MgO があげられる。成分の単位量としては金属の原子量が選ばれる。すなわち珪素，アルミナ，マグネシウム原子の数の相関関係または SiO_2：$^1/_2$ Al_2O_3：MgO 分子の相関関係で現わされる。図の黒点は交代変成の次のような鉱物である。

K_v 石英 SiO_2

A_t（透輝石）$CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$

S_c（Scapolite）柱石 $7CaAl_2Si_2O_8 \cdot {}^1/_3Ca\,(CO_3,\ SO_4)]3\ [NaAlSi_3O_8 \cdot {}^1/_3\ Na\,(ClHSO_4,\ HCO_3)]$

Ort（Orthodase）正長石 $K_2O \cdot Al_2O_2 \cdot 6SiO_2$

Fh（Phlogopit）金雲母 $2H_2O \cdot K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$

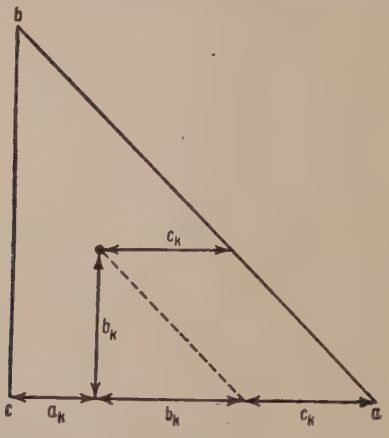
Fr（forsterite）苦土カンラン石 $2MgO \cdot SiO_2$

Dol（Dolomite）白雲石 $CaO \cdot MgO \cdot 2CO_2$

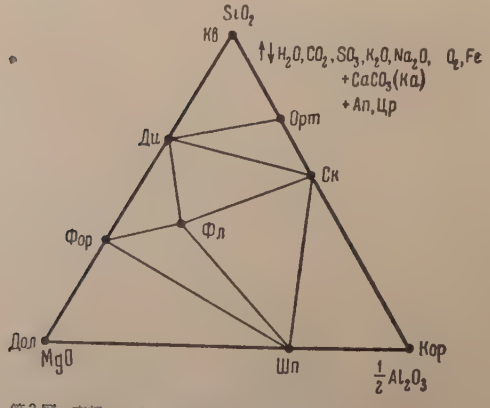
Sh_n（Spinel）尖晶石 $MgO \cdot Al_2O_3$

Cor（Corundum）鋼玉 Al_2O_3

これらの鉱物類の組成点は，SiO_2：$^1/_2Al_2O_3$：MgO の仮想成分の相関関係のみを考慮に入



第2図　組成二等辺三角形における ak：bk：ck 成分比をもつ k 組成を示す



第3図　東部シベリヤの原生代の花崗片麻岩累系中の強度に変成作用を蒙つた石灰岩の組成－共生成分（鉱物）三角形図

れて点示されている。

交代相の平衡共生鉱物（成分）の研究を基において，次に“内包”直線で求められた鉱物の組成点を結ぶ。求められた直線は2鉱物の共生関係の安定度を示している。このようにすれば直角三角形図はさらに小三角形系に内包直線で区分される。このようにして求められた小三角形はその頂点に位置する3鉱物のおのおのの構成成分区画を現わしている。したがつて第3図は次の3鉱物の共生関係を示している。

1) 石英＋透輝石＋正長石
2) 透輝石＋正長石＋柱石
3) 柱石＋透輝石＋金雲母
4) 透輝石＋金雲母＋苦土カンラン石
5) 苦土カンラン石＋金雲母＋尖晶石
6) 柱石＋金雲母＋尖晶石
7) 白雲石＋苦土カンラン石＋尖晶石
8) 柱石＋尖晶石＋鋼玉

各共生鉱物中には第4鉱物として方解石が存在する。内包直線で結び付けられない鉱物類は共存できない。すなわちこの交代，変成相では，石英は，柱石・金雲母・尖晶石・苦土カンラン石・白雲石および鋼玉とともに同時生成鉱物として出会しない。柱石は，苦土カンラン石および白雲石と会合しない。このような共生の“禁制”は，同時生成の安定鉱物数を制約する相律によるものである。

この三角形図は特に2つの場合にあてはまる。このことは，強度の変成作用を蒙つた白雲石と珪酸塩の共生関係の研究で立証されている。たゞし変成作用は定圧下で行われ，アルカリ金属の挙動は全移動性を示すが，方解石は過剰不活成分として変成作用に干与するものとする。この場合同時生成鉱物数は不動第4鉱物成分数に等しくなるはずである。この反変成過程ではカルシウムは過剰成分であるが，Si，Al，Mg は仮想成分となる。しかしこの三角形図では，可変圧，定容量の下で生成される金雲母鉱床の交代相に対応している。この場合には，相律により，鉱物数は，単位あたりの不活性成分数より大きくなるはずである。しかしこの反応過程ではカルシウムが隣接白雲石から被置換（交代）珪酸塩中に運ばれ，方解石の型態で交代岩石中一置換には分圧の低下を伴なう一に沈澱するから，不活成分は3成分だけである。

この場合にはカルシウムは，不活性過剰成分でなく，“全移動過剰成分”である。したがつて方解石はこゝでは“全移動過剰鉱物”であるといえよう。多くの交代作用過程（アフライト化，グライゼン化作用等）でも類似の現象が起こり，石英は“全移動過剰鉱物”として出現する。

このように，交代作用が標準交代作用に特に特徴的な定圧下で行われるならば，“反応鉱物”のみが生成され，その数は，不活性成分数に等しい。そのうえ岩石の鉱物組成は，不活性成分との相関関係だけによつて異なつてくる。交代作用が定容量（積）の下で行われるならば，被反応鉱物には“被沈澱”鉱物が附加され，初成鉱物が反応鉱物で置換される際に生じる容量（積）の減少が補われる。沈澱鉱物の組成は作用溶液の組成に左右される。すなわち溶液の組成が一定の場合には，与えられた交代，変成相の“全移動過剰鉱物”で代表される一種類の沈澱鉱物が普通沈積する。交代作用の移行階梯では複雑な現象が起きる。この階梯では，置換岩石には初め一交代，変成帯の前面一一種類の沈澱鉱物が一層多量に沈積し，次でこの種沈澱鉱物は，与えられた交代，変成相の上過剰全移動性鉱物で置換され，次交代，変成帯を形成する。このような現象は，鉱石の沈澱生成される場合に出会し，本来の交代性岩石の生成には本質的な意味をもつていない。したがつて本論文では，被反応鉱物に附加される一種類の全移動性過剰鉱物が常にとりあげられている。

鉱物組成と不活性成分比との従属関係を示す三角形図は，外的条件の変化にともつてその容相が変わつてくる。容相変化は，内包直線の配列状態の変化の型をとつて現われ，三角形図には

1鉱物が消失するとともに他鉱物が出現する。溶液中に共存する全移動成分中の1成分の濃度が上昇すると、質量作用の法則によつて、不活性成分の与えられた相関関係の下で初成成分より移動成分に一層 enrich された共生関係が生成される。例えば、不活性成分が同一相関関係を保つ場合には溶液中に溶存する鉄の濃度が上昇すると、鉄の含有量が高くなるはずであるから、透輝石＋金雲母＋柱石（第3図参照）の共生関係の代りに角閃石が生成される。反対の現象は、溶存する全移動成分中の1成分の濃度が低下する場合に起きる。

変成現象の研究によれば、珪酸塩岩石が完全変成作用を蒙ると水と炭酸の全移動が起きることを示している。温度の上昇は、水と炭酸との遊離を伴なう反応が起きるが、反応強度の増大率は、水の活性度の著しい変化を伴なわずに、炭酸圧（濃度）の上昇率と同一値を示す (Korzhinskii 1940)。

岩石の内成交代作用は、上昇溶液の岩石に及ぼす作用で起こり、その作用は、主要岩石塊の滞孔溶液が所与の岩石類中に浸透する間持続する。多くの場合この種の交代作用の持続性は、外的條件が置換像を変えることができない意味において大きくない。このような状態下ではすべての造岩鉱物類がある温度條件で生成されたことを示している。他の場合には、岩石の変化は持続するが、低下温度の條件の下で消滅する。この状態の下では“ヒステロ源の（hysterogenetic）鉱物とその共生関係—従属的に発達を示す—とが生成される。最後に、さらに単一な変成．交代過程が岩石に出現する場合がしばしばみられる。組成—共生の各三角形図は、反応過程—交代，変成過程—のある温度階梯における状態変化だけを示すものである。したがつて，その温度範囲では，外的條件の変化が造岩鉱物の共生的相互関係の変化を透導できないことは明らかである。

II. 交代現象概説

A．交代現象の一般的特性

1. 火成作用，変成作用と鉱床生成との関連性について

内成交代作用は，変成作用の特殊の場合，すなわち岩石の化学的組成の本質的な変化を伴なう変成作用である。初期には，広域変成作用および“標式接触”変成作用は岩石に対するある種の加熱作用の影響で完成され、岩石の化学組成の変化を伴なわないと考えられていた。したがつて変成作用過程は交代作用過程に対立するものであると規定されていた。しかし珪酸塩岩石の任意の変成作用は，最後には岩石中に共存する水および炭酸物質の含有量の変化を伴なう。すなわち岩石の化学的組成にある程度の変化が起きる。さらに任意の変成過程では，以上の現象とともに，個々の変成帯には典型的な交代作用過程が出現する。このような現象の発生は次の点を考えれば明らかである。すなわち変成作用はすでに述べたように，上昇溶液が岩石に影響を及ぼすために生じることと関連性をもつているからである。この種溶液が岩石と反応する場合には，上昇溶液は岩石中を浸透し，交代性帯状分布が生じるはずである。交代柱の上方帯では，岩石の変化は“標式的”変成作用の特性を帯び，化学組成の根本的な変化を伴なわない。このような現象がみられるのは，上方帯での移動成分は水と炭酸物質だけであるからである。下部帯では溶液と岩石との反応が一層強度に行われ，岩石の交代性変化が起きる。このようにして交代作用は，変成作用と連続的に結び付き，一層強度の変成現象を代表している。

溶液が岩石中を浸透する場合には，著しい抵抗に出会する。割れ目が発達し，弱線帯が存在する箇所では上昇溶液はこれらの地帯を利用する。したがつて割れ目および弱線帯の周辺では，交代作用過程は最も強度に現われる。溶液と岩石とが最も強度に反応している地帯—主として割れ目に沿う地帯—では，岩石の初成の成分類は，著しく運び出され，そこに溶液の成分類，特に鉱石類が沈澱するであろう。鉱化帯および鉱脈の生成は，しばしば交代作用過程の端現象（end phenomenon）を現わしている。鉱石が割れ目を充填する型で沈澱している場合でも，交代作

用は鉱化溶液の連続，浸透影響の下では，自変質作用的性質を獲得する。

それとともに，変成作用と火成現象との連続的な結び付きが確かめられている。接触および広域変成現象は，火成岩岩塊の生成を常に伴なつている。大多数の内成鉱床の生成は，後火成溶液と明らかに関連性をもつている。高温相の広域変成作用が発達している地域では，花崗岩化作用が出現し，変成岩は片麻岩状融合岩と花崗岩で置換されている。P. Terme は 1910年に初めてこの現象から次のような仮説を誘導した。岩石に変成作用を与える移動成分の上昇流，特に水は，一層下部層準の堆積物を選択的に溶融し，花崗岩漿が生成される。上昇溶液で生じる浸入交代柱（infiltration colum）についても述べることができる。この場合上部帯には標式変成作用が生じ，その下帯には増進交代帯が形成されるが，下部帯—極大反応帯と最高温度帯—では岩石は共融岩漿で置換されている。溶液の上昇が連続的に行われるにしたがつて，全帯にわたつて上部帯は下部帯との置換が行われる。特に岩漿と接触する地帯では，岩石の“火成活動的の浸入置換”が起こり，岩石は変成，交代作用を蒙るにいたる。花崗岩化作用ならびに晩期の後火成作用によつて生ずる上昇水溶液の一般的な成因としては重力偏差（gravitational differential）があげられる。この種偏差は，岩石類よりも密度の低い水溶液の表面に絞り取り作用（squeezing action）の型で現われる。

このようにして火成作用，変成作用，交代作用および内成鉱床生成作用の諸過程は，それ自体連続的に結び付いている。すべてこれらの諸過程は，地殻の深部（下部層準）から溶液と岩漿（酸性および塩基性）の上昇によつて形成される。

（以下続きは追つて月報本欄に掲載する予定）

地質調査所月報 第8巻 第11号 目 次

報 文

川崎・横浜両市工業用水源地域調査報告
—関東西部地域調査 第2報—

岐阜県揖斐川上流電源開発土木地質調査報告

概 報

北海道虻田鉱山地震探査報告

佐賀県筑後川水系城原川堰堤調査報告

熊本県緑川水系堰堤地点地質調査報告

雑 報

宮崎県見立鉱山女郎谷地区物理探鉱調査報告

岡山県吹屋地区物理探鉱調査報告

青森県日東桜沢鉱山砂鉄鉱床調査報告

資 料

地殻における造構破砕と応力との相関関係について

地質調査所への連絡は

本 所	神奈川県川崎市久本町（溝の口）135番地 電話 (70) 1146～1148番 (72) 4291～4293番
東京分室	東京都新宿区河田町8番地 電話 (34) 7131～8番
北海道支所	北海道札幌市南1條西18丁目 電話（3）5574番
仙台駐在員事務所	仙台市柳町通り28番地(仙台通産局内) 電話（3）2306番
名古屋駐在員事務所	名古屋市東区長塀町（名古屋通産局内）電話（4）6416番
大阪駐在員事務所	大阪市大淀区大仁西2丁目（大阪工業技術試験所内） 電話 (45) 7019番
広島駐在員事務所	広島市基町1番地（広島通産局内）電話 中（2）1945番
四国駐在員事務所	高松市七番町56の1番地（四国通産局内）電話（高松）5681番
福岡駐在員事務所	福岡市北浜町2の19番地 （通産省福岡合同庁舎内） 電話 西局（2）6743番

昭和32年10月25日 印 刷
昭和32年10月30日 発 行

著者権所有 工業技術院地質調査所

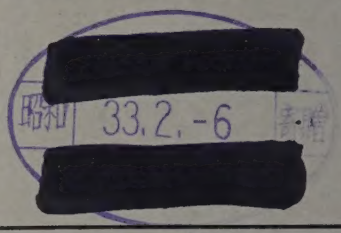
印刷者 田 中 春 美
東京都台東区東黒門町3番地

印刷所 合資会社 田中幸和堂印刷所
東京都台東区東黒門町3番地

U. D. C. 55(05)

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Katsu Kaneko, Director



Vol. 8 OCTOBER 1957 No. 10

CONTENTS

Cooperative Group of Hydrogeology for Industrial Water Supply : Ground Water Researches for Fabric Industry in the Eastern and Northern Parts of Tokyo ..... (1)

Nobukazu Kambe & Masatsugu Saitō : The Lower Triassic Discovered in the Takachiho District, Miyazaki Prefecture ..... (27)

Takeshi Andō & Kazue Watanabe : On the Matsukawa Geothermal District in Iwate Prefecture ..... (29)

Takeo Matsuda, Tomonori Sugiyama & Yoshirō Suda : On the Calibration of the North American Gravimeter AGI-157 ..... (33)

Nobuo Inai : Geology of the Dam Site on the River Sendai, Kagoshima Prefecture ..... (35)

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan

地質調月
Bull. Geol. Sur
Vol. 8, No. 10,